



Universidade do Minho

Escola de Ciências

Nemias Moniz Dos Reis Gonçalves

**Monitorização e gestão dos Recursos
Geológicos e seus impactes
ambientais no concelho de São
Domingos, ilha de Santiago - Cabo
Verde, com ênfase na qualidade da
Água**

Dissertação de Mestrado em Geociências,

Especialização em Valorização de Recursos
Geológicos

Trabalho efetuado sob a orientação da

Doutora Teresa Maria Fernandes Valente

Julho – 2015

DECLARAÇÃO

Nome: Nemias Moniz Dos Reis Gonçalves

Número do Bilhete de Identidade: 84801

Endereço de correio eletrónico: moniznemias83@yahoo.com.br

Título da Dissertação: **Monitorização e gestão dos Recursos Geológicos e seus impactes ambientais no concelho de São Domingos, ilha de Santiago - Cabo Verde, com ênfase na qualidade da Água**

Orientadora: Doutora Teresa Maria Fernandes Valente

Ano de conclusão: 2015

Designação do Mestrado: Geociências, Especialização em Valorização de Recursos Geológicos

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MÉDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE

Universidade do Minho, 07/07/2015

Assinatura:_____

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família em especial aos meus pais e ao meu filho

Agradecimentos

Agradeço a Senhor Deus Criador, Onnipotente, Nosso Pai, Jesus Cristo, Nosso Salvador por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar os caminhos nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades e pela capacidade de aproveitar aquilo de bom que a vida nos Oferece.

À Professora Doutora Teresa Maria Valente, orientadora da dissertação, agradeço o apoio, a partilha do saber e as valiosas contribuições para o trabalho. Acima de tudo, obrigado por me acompanhar nesta jornada e por estimular o meu interesse pelo conhecimento e pela vida académica.

Ao Professor Doutor Renato Henrique, pela disponibilidade, paciência e dedicação demonstrada na georefenciação dos mapas.

Aos meus colegas de mestrado, e em particular ao meu colega e amigo Tomaz Assunção e Rui Monteiro, pelo companheirismo, colaboração, trabalhos realizados em grupo e a todos os professores que comigo partilharam o seu saber.

Ao Professor Doutor José Brilha, por ser a pessoa que me proporcionou a entrada à Universidade.

À Dra. Lúcia Guise do Laboratório de Águas, do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho, agradeço a capacidade e o rigor das análises realizadas.

Ao Professor Doutor José Manuel Pereira, pelo apoio e total disponibilidade demonstrada durante este percurso.

A Professora Doutora Adriana Mendonça, pelo incondicional apoio prestado durante toda a etapa da elaboração deste trabalho, sugestões, organização do trabalho e correções. Agradeço pela disponibilidade, abertura, troca de ideias, demonstrando ser uma pessoa impar, obrigado por tudo.

Agradeço a todos os meus amigos pelos momentos bons partilhados em especial ao Lecy, Adnilson “Zebi”, Cilú e Laduvick pelo apoio e acompanhamento nas saídas de campo.

A Ineida Romy e Agostinho Semedo “Manu”, obrigado pela camaradagem, incentivo, ideias brilhantes, e acima de tudo pela coragem e motivação transmitida aquando das nossas reflexões.

Agradeço à Fundação Calouste Gulbenkian pelo apoio e financiamento do curso, que se assim não fosse não possível percorrer este caminho.

A Telma Carmicita minha esposa pelo carinho, amor, atenção, apoio, sacrifício, momentos agradáveis proporcionados durante este percurso e por ter-me proporcionado um dos momentos mais especial de um homem “ser pai”.

Por último e porque os últimos são os primeiros queria agradecer a minha família pelo encorajamento, motivação, apoio incondicional, acompanhamento e sacrifício durante todo este percurso.



P- 130084/ 147/SBG/13

Monitorização e gestão dos recursos geológicos e seus impactes ambientais no concelho de São Domingos, ilha de Santiago - Cabo Verde, com ênfase na qualidade da Água

Resumo

A água é um recurso natural essencial à vida fortemente suscetível de degradação, pelo que é fundamental a sua gestão e o controlo da sua qualidade. Os usos da água dependem das suas propriedades e composição. Estas, por sua vez, resultam de processos de interação água-rocha e da introdução antrópica de substâncias que podem afetar a sua qualidade e, assim, condicionar os usos. A presente investigação tem como objetivo a avaliação do estado de qualidade da água e potencialidades de uso no concelho de S. Domingos, Ilha de Santiago, Cabo Verde. Foram colhidas 22 amostras de água, sujeitas as medições *in situ* de parâmetros expeditos: pH, condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos totais (TDS) e temperatura. A caracterização foi completada com a análise da componente aniónica (cloreto, brometo, fluoreto, nitrato, nitrito, fosfato e sulfato), de alcalinidade, oxidabilidade, sólidos suspensos totais e metais. Os resultados obtidos mostram, de uma maneira geral, o carácter mineralizado destas águas, com valor médio de condutividade de $1361\mu\text{S}/\text{cm}$. A classificação hidroquímica, de acordo com diagrama de Piper, conduziu à discriminação dos seguintes tipos: águas mistas bicarbonatadas, equivalendo a 50% das amostras, mistas cloretadas (22,7%) e mistas sódicas (cloretadas e bicarbonatadas), correspondendo a 27% das amostras. Considerando o que está estabelecido no Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto de Portugal e no Decreto-Lei n.º 8/2004 de Cabo Verde, que definem os valores paramétricos de qualidade da água, verificou-se que apenas 36% das amostras têm qualidade suficiente para consumo humano, cumprindo na íntegra os padrões de potabilidade estabelecidos. No que respeita à utilização da água para rega, segundo o Diagrama U. S. Salinity Laboratory, 68% das amostras mostram evidências de perigo salinização alto a muito alto e 32% apresentam risco médio. Quanto à alcalinização apenas 9% das amostras apresentam perigo médio, enquanto as restantes não indicam qualquer restrição de uso na agricultura. A análise estatística dos resultados pôs em evidência processos naturais de evolução hidroquímica, particularmente a salinização de amostras situadas em aluviões e praias fósseis. De maneira similar, o estudo efetuado revelou a existência de processos de degradação desencadeados por contaminação fecal. Visando a proteção da saúde da população do concelho, recomenda-se a implementação de medidas que proporcionem o aproveitamento sustentado e seguro dos recursos hídricos que passam, desde logo, pela elaboração de um plano de monitorização da qualidade de água para todo o concelho.

Palavras-chave: Qualidade da água, monitorização, hidroquímica

Monitoring and management of geological resources and their environmental impacts in the municipality of São Domingos, Santiago Island - Cape Verde, with emphasis on the quality of water

Abstract

Water is one of the most abundant susceptible natural resources on the planet and is essential to life, so it is fundamental its management and quality control. Its composition results from water-rock interaction processes as well as from the introduction of contaminants by human activity. This investigation aims to evaluate the status of water quality and the potential of use in the S. Domingos municipality, Santiago Island, Cape Verde. For that, 22 water samples were collected and submitted to measurements of the following parameters: pH, electric conductivity (EC), total dissolved solids (TDS) and temperature. Characterization was completed through the analyses of anions (chloride, bromide, fluoride, nitrate, nitrite, phosphate and sulfate), alkalinity, oxidability, total suspended solids and metals. The obtained results indicated that the collected samples are mineralized, with average value of conductivity of $1361\mu\text{S}/\text{cm}$. The hydrochemical classification by Piper diagram allowed the discrimination of the following classes: mixed bicarbonate, equivalent to 50% of the samples, mixed chlorinated (22.7%) and mixed, with sodium (chlorinated and bicarbonate) for 27.3% samples. According to the Portuguese and Cape Verde legislation framework for water quality (D.L. n° 236/98, of 1 august from Portugal and D.L. n° 8/2004 from Cape Verde) there are 36% of samples with sufficient quality as drinking water, complying in full the quality standards. As regards the use of water for irrigation, according to the US Salinity Laboratory Diagram, 68% of the samples show evidence of high to very high danger of salinization while 32% has medium risk. As to the alkalizing, only 9% of the samples present medium hazard; the other samples have no usage restrictions on agriculture. To protect the population against the harmful health effects it is recommended implementing measures susceptible of providing a sustainable use of water resources, namely the immediate planning and implementation of water quality monitoring plan for the entire municipality.

Keywords: quality water, monitoring, hydrochemistry

Índice geral

Resumo.....	vii
Abstract	ix
Índice geral.....	xi
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de tabelas	xv
SIGLAS E ABREVIATURAS	xvii
CAPITULO I- INTRODUÇÃO.....	1
I.1.Justificação e motivações para o desenvolvimento da Dissertação	1
I.2.Distribuição da água a nível mundial	2
I.3. Principais usos da água.....	3
I.3.1. Uso para o consumo humano ou doméstico.....	3
I.3.2. Uso da água na agricultura	3
I.3.3. Aplicações na indústria, transportes e energia	4
I.4. Distribuição da água por uso e por pessoa.....	4
I.5. Organização da dissertação	6
CAPÍTULO II. QUALIDADE DA ÁGUA E PARÂMETROS INDICADORES	7
II.1.Quadros legais relativos à qualidade água	7
II.2. Parâmetros físico-químicos de qualidade da água	8
II.2.1- Parâmetros Globais.....	9
a) Temperatura.....	9
b) Turvação.....	9
c) pH	10
d) Resíduo seco e total de sais dissolvidos	10
e) Condutividade Elétrica e Sólidos Dissolvidos Totais.....	11
f) Alcalinidade e Acidez	12
g) Dureza Total.....	13
h) Sílica total (SiO ₂)	14
i) Oxigénio dissolvido	15
j) Oxidabilidade	15
II.2.2- Componente Maioritária	16
1- Aniões macro constituintes.....	16
a) Bicarbonato (HCO ₃ ⁻) e Carbonato (CO ₃ ²⁻)	16
b) Cloreto (Cl ⁻).....	17
c) Sulfato (SO ₄ ²⁻) e Fosfatos (PO ₄ ²⁻).....	17
d) Nitrato (NO ₃ ⁻) e Nitrito (NO ₂ ⁻)	18
e) Fluoreto (F ⁻).....	18
2- Catiões macro constituintes	19
a) Sódio (Na) e Potássio (K).....	19
b) Cálcio (Ca ²⁺).....	19
c) Magnésio (Mg)	20

d) Lítio (Li).....	20
II.2.3. Componente vestigiária	20
a) Ferro (Fe)	20
b) Manganês	21
c) Alumínio	22
d) Boro (B)	22
CAPITULO III- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	23
III.1- Localização Geográfica	23
III.2. Aspetos Climáticos	24
III.3. Aspetos Geomorfológicos	25
III.5- Hidrogeologia.....	27
III.6- Caracterização socioeconómica do concelho de São Domingos.....	28
III.6.1. Serviço de abastecimento de água	28
a) Ligação domiciliária.....	29
b) Chafariz.....	29
c) A distribuição direta por autotanque	29
d) Poços e nascentes	30
e) Camiões.....	30
III.6.2- Controlo analítico da qualidade de água	31
CAPÍTULO IV – METODOLOGIA	33
IV.1. Amostragem	33
IV.2. Métodos de análise química	34
IV.3. Tratamento de dados	34
CAPÍTULO V- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
V.1- Inventário de pontos de água.....	35
V.2. Caracterização hidrogeoquímica	37
V.2.1- Parâmetros globais	37
V.2.2-Componente maioritária	42
V.2.3-Componente vestigiária.....	44
V.3. Síntese de comportamento hidroquímico extraído da análise estatística	45
V.3.1. Discussão dos sumários estatísticos	45
V.3.2. Discussão da análise cluster	47
V.4-Fácies Hidroquímica.....	48
V.5-Qualidade da água	50
V.5.1-Qualidade da água para consumo humano	50
V.5.2-Qualidade de água para o uso agrícola.....	55
CAPITULO VI- CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

Índice de Figuras

Figura 1-Localização do arquipélago de Cabo verde. O círculo vermelho indica a ilha de Santiago (imagens extraídas do software Google Earth).....	23
Figura 2- Imagem aérea, obtida através do Google™ Earth. A seta a vermelho indica área de estudo (concelho de São Domingos).....	24
Figura 3- Enquadramento Geomorfológico do concelho de São Domingos. O retângulo vermelho indica a área de estudo	25
Figura 4- Enquadramento geológico-estrutural do concelho de São Domingos.....	27
Figura 5-Abastecimento da água às famílias	31
Figura 6- Distribuição espacial dos pontos de água selecionados no Concelho de São Domingos	36
Figura 7- Distribuição do pH das amostras de água em estudo	38
Figura 8- Valores da condutividade das amostras em estudo	38
Figura 9- Distribuição dos valores de temperatura dos pontos de água em estudo	39
Figura 10- Distribuição dos totais de sólidos dissolvidos nas amostras de água em estudo	40
Figura 11- correlação entre a C.E. e TDS.....	40
Figura 12- Valores da alcalinidade nas amostras de água em estudo	41
Figura 13- distribuição do Sílica nas amostras de água em estudo.....	41
Figura 14- Componente catiónica das amostras em estudo	42
Figura 15-Componente aniónica das 22 amostras em estudo.....	43
Figura 16- Concentrações média de alguns elementos vestigiais nas águas em estudo	45
Figura 17- Dendograma de variáveis.....	48
Figura 18- Projeção da composição química das amostras de água em estudo no diagrama de Piper	49
Figura 19- Número de amostras que ultrapassam o padrão de potabilidade legislado	54
Figura 20- Número de parâmetros que ultrapassam os valores máximos admissíveis	55
Figura 21- Diagrama Riverside para avaliação da qualidade da água para rega	57
Figura 22- Percentagem de População Versus Percentagem de Água por Continente	76
Figura 23 - Principais usos da água	76
Figura 24 - Comparação da quantidade de água usada para os principais grupos de países	76
Figura 25 - Consumo da água no mundo- Utilização diária média, disparidade no consumo	77

Índice de tabelas

Tabela 1- Relação entre condutividade elétrica e sólidos dissolvidos.	11
Tabela 2- Resultado parâmetros físicos medidos	37
Tabela 3- Parâmetros estatísticos das concentrações dos cátions presentes nas amostras de água em estudo (valores em mg/L)	43
Tabela 4- Parâmetros estatísticos das concentrações dos cátions presentes nas amostras de água em estudo (valores em mg/L)	44
Tabela 5- Parâmetros estatísticos das concentrações dos elementos vestigiais presentes nas amostras de água em estudo (valores em µg/L)	44
Tabela 6- Avaliação da qualidade de águas da área de estudo de acordo com a legislação vigente em Cabo verde e Portugal.....	51
Tabela 7- Apreciação da qualidade da água para rega de acordo com o Anexo XVI do Decreto-Lei n.º 236/98.....	58

SIGLAS E ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
AM	Amostras
CE	Condutividade elétrica
CH	Chafariz
CI	Cromatografia iónica
FAO	Fundo Mundial para a Alimentação
ICP-OES	Espectrometria de emissão atómica
INE	Instituto nacional de estatística
INGRH	Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos
INMG	Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica
LD	Ligação Domiciliária
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial hidrogénio
QGIS	Quantum GIS
SAAS	Serviço autónomo de água e saneamento
SAR	Relação de absorção de sódio
TDS	Totais de sólidos dissolvidos
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USSL	United States Salinity Laboratory
VMA	Valor máximo admissível
VMR	Valor máximo recomendado
VP	Valor paramétrico

“A nossa sociedade assenta sobre e está dependente, da utilização de recursos como a água, solo, florestas e minerais. O modo como usamos estes recursos influencia a nossa saúde, segurança, economia e bem-estar”.

John K. Kennedy, 1961

CAPITULO I- INTRODUÇÃO

I.1. Justificação e motivações para o desenvolvimento da Dissertação

O presente trabalho foca-se na temática da água pela importância que esta ocupa na vida do ser humano. A água é uma necessidade primordial para a vida, recurso natural indispensável ao ser humano e aos demais seres vivos, além de ser suporte essencial aos ecossistemas. Utilizada para o consumo humano e para as atividades socioeconómicas, é retirada de rios, lagos, represas e aquíferos, tendo influência direta sobre a saúde, a qualidade de vida e o desenvolvimento das populações (Sousa & Perrone, 2001). Uma água de má qualidade pode causar sérios riscos à saúde humana ou impedir o desenvolvimento agrícola e industrial de um território.

A satisfação dos diversos critérios da qualidade da água está dependente do destino da mesma (consumo humano, irrigação, industrial, ecológico). Um dos usos mais nobres prende-se com o abastecimento das populações. Ora, sabe-se que as doenças relacionadas com a contaminação da água de consumo humano constituem uma elevada responsabilidade e importância em termos de Saúde Pública (Mendes B. S., 2004). Assim, os governos de todo o mundo devem procurar estabilizar regulamentos para permitir uma boa qualidade da água e assim diminuir as doenças associadas ao consumo da mesma (Who, 2004a).

Relativamente às normas legais, Cabo Verde não foge à regra, principalmente porque não dispõe de abundância de recursos hídricos, torna-se por isso indispensável a regulação do setor para que se possa fazer um bom uso do limitado recurso existente. Com efeito, no Arquipélago de Cabo Verde, pela sua escassez e fragilidade, a proteção deste recurso assume-se como necessidade estratégica primordial.

Esta investigação visa a implementação de medidas de monitorização, que possam auxiliar as entidades responsáveis pela gestão do território e dos recursos naturais a zelar pela proteção do meio ambiente tendo em consideração, em particular, a qualidade do recurso ÁGUA.

No contexto territorial em estudo – Ilha de Santiago, Cabo Verde, a degradação do recurso ÁGUA, do ponto de vista da sua escassez e qualidade, pode resultar de pressões diversas. Designadamente podem referir-se a sobrecarga dos aquíferos, descarga de substâncias poluentes com origem diversa e modificações ao nível da dinâmica e hidroquímica dos aquíferos, potencialmente motivadas pela exploração de inertes.

A crescente procura de material de construção decorrente do aumento demográfico, da urbanização, da modernização e da emergência do setor turístico, tem gerado uma intensa

pressão sobre os escassos e frágeis recursos naturais das ilhas do arquipélago de Cabo Verde. Neste contexto, interessa ressaltar a extração de inertes (areia, cascalho, brita, jorra etc.) para a produção de agregados, da qual resultam impactes ambientais com incidência ao nível dos recursos hídricos. As consequências ambientais desta extração resultam muitas vezes da ausência de protocolos de ordenamento e do incumprimento de práticas de gestão racional das áreas de extração e dos próprios recursos, comprometendo o desenvolvimento sustentável das ilhas, nomeadamente, através da destruição do solo, da vegetação, dos habitats e na afetação da qualidade da água, por vezes de forma irreversível.

Tomando como ponto de partida as necessidades para consumo humano e eventuais conflitos com outras atividades, este trabalho pretende contribuir com uma avaliação do estado de qualidade da água e potencialidades de uso no concelho de S. Domingos, Ilha de Santiago, Cabo Verde.

Conforme referido, o tema central desta dissertação é a monitorização da qualidade de água no concelho de São Domingos, Ilha de Santiago, e a avaliação do grau de conflitualidade entre a preservação da qualidade da água e outras atividades antrópicas que caracterizam o concelho.

Para a sua concretização procurou-se: (I) - inventariar pontos de água no território em estudo, (II) -inventariar focos de impacte ambiental com incidência na qualidade da água, e avaliar a sua natureza e magnitude e significância, (III) -avaliar a qualidade da água em função dos usos principais: consumo doméstico e agricultura, (IV) Identificar processos naturais e antrópicos causadores de degradação da qualidade da água.

I.2.Distribuição da água a nível mundial

Apesar do volume exato de água necessário para satisfazer as necessidades humanas ainda ser assunto de debate, estima-se que, não há água potável suficiente no planeta para suportar cerca de 20 biliões de pessoas (Illueca & Walter, 1999). Atualmente a população mundial ronda os 6 mil milhões de pessoas, as quais são responsáveis pelo uso de cerca de 30% da água disponível no mundo inteiro. No ano de 2025 esse valor pode chegar aos 70%, tal como destacam Neto e Bettencourt (2009) (*Cf. Figura 22 - Anexo A*). A sua análise mostra a distribuição desigual dos recursos hídricos a nível mundial. Com efeito, em África, na Europa e na Ásia, a percentagem da população ultrapassa a da disponibilidade de água, gerando uma situação de maior procura do que oferta de recursos hídricos. A maior discrepância de valores verifica-se na Ásia. Neste continente, a água foi sempre considerada

como um recurso abundante, no entanto a sua disponibilidade diminuiu entre 40 a 60 por cento no período de 1955 a 1990.

Já no continente americano e na Oceânia verifica-se que existem percentagens de água superiores à percentagem de população existente nessas regiões.

I.3. Principais usos da água

Dependendo da qualidade da água, esta tem vários usos dos quais se destacam: abastecimento humano, agricultura e indústrias. Em Cabo Verde, apesar de possuir quantidade limitada de água doce, esta é utilizada na sua maioria no setor agrícola. Este facto provoca a sobre-exploração e consequente salinização do lençol freáticos devido à escassez de chuvas para a recarga dos aquíferos e nalguns casos devido à intrusão salina.

I.3.1. Uso para o consumo humano ou doméstico

A água para consumo humano ou doméstico utiliza-se na alimentação, asseio pessoal e na limpeza da casa e dos utensílios ou roupas, na lavagem de automóveis e na irrigação de jardins. Em termos globais estima-se que o consumo médio da água é 120 litros diários por pessoa. Mas esta quantidade depende das condições de casa, das instituições ou instalações de trabalho e das atividades que se realizam nelas (Solís, 2002).

É essencial para a manutenção da saúde e do bem-estar de todo ser humano o acesso à água potável. Considera-se água potável aquela que pode ser consumida sem nenhum risco de contaminação por agentes químicos ou biológicos a curto e longo prazo. A qualidade da água, por outro lado, está relacionada com todas as substâncias químicas, partículas e microrganismos que estão contidos em si. Geralmente é grande a quantidade de substâncias dissolvidas ou em suspensão, dada a elevada capacidade da água de dissolver e mobilizar materiais. No entanto, a importância do consumo para o abastecimento não está tanto na sua magnitude relativa, uma vez que à escala mundial é muito inferior aos de outros usos. O uso doméstico e urbano, apesar da sua importância, é modesto, se comparado ao volume de água utilizado pela agricultura e pela indústria (Rivera, 2014).

I.3.2. Uso da água na agricultura

A atividade agrícola é uma grande consumidora de água. Estima-se que as práticas agrícolas sejam responsáveis por cerca de 70% da água dos rios, lagos e aquíferos, razão pela qual seu potencial desperdício é um dos mais graves. Frequentemente, a ineficiência dos sistemas de rega causam o desperdício de grandes quantidades de água, podendo chegar à zona de cultivo

apenas entre 15% e 50% da água que é extraída para irrigação, considerando ainda perdas por evaporação, por absorção e por fugas (Solís, 2002).

Enquanto são gastos em média dois a três litros por pessoa por dia para ingestão e de 30 a 300 litros para higiene e limpeza, são necessários de 2000 a 5000 litros por dia para produzir os alimentos consumidos em média diariamente para uma dieta balanceada de uma pessoa (Unesco, 2006).

Pelo facto de ser um setor que exige o consumo de uma enorme quantidade de água, é diretamente afetado pela problemática de escassez deste recurso. Além disso, parte da água utilizada para irrigação evapora e a restante retorna aos rios ou infiltra-se no solo. Contudo, nestes dois últimos casos carrega consigo uma grande quantidade de sedimentos além de poluentes químicos, como agrotóxicos, bem como contribui para a salinização do solo (Ongley, 2006).

I.3.3. Aplicações na indústria, transportes e energia

A nível mundial, a indústria é quantitativamente o segundo utilizador principal das águas, depois da agricultura (Rubio & Magán, 1998).

Segundo a Unesco (2006), a água é utilizada numa série de processos na indústria, desde limpeza, a geração de vapor, o aquecimento ou refrigeração, como transportadora de substâncias ou partículas, como matéria-prima ou diretamente no produto, como no caso da indústria de bebidas. Em virtude da maior eficiência dos processos industriais, a retirada de água para esta finalidade tem-se estabilizado por todo o mundo. Contudo, a maior preocupação refere-se ao impacto dos efluentes das indústrias no ambiente, contrariamente à quantidade de água retirada. Um exemplo claro é a problemática do desperdício industrial da água contaminada na rede geral de águas residuais de um núcleo urbano. A presença de determinados compostos contaminantes nas águas residuais industriais pode causar problemas nas plantas e inibir alguns dos processos biológicos que nelas se provocam (Rubio & Magán, 1998). Daí a importância do controlo dos desperdícios industriais da água e a conveniência de obrigar as indústrias a realizar os tratamentos que são necessários antes da sua incorporação na rede geral.

I.4. Distribuição da água por uso e por pessoa

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que em 2025, as sociedades humanas consumirão 70% da água disponível. Esta estimativa foi realizada considerando apenas o crescimento da população. No entanto, de acordo com Brooks (2002), se o consumo de água *per capita* continuar a crescer ao ritmo atual dos países desenvolvidos, em 2025 o Homem

estará a usar 90% da água doce disponível, deixando apenas 10 por cento para as outras espécies que povoam o planeta (*Cf. Figura 23 - Anexo A*). Atualmente, em todo o mundo, 70% da extração anual de água é para consumo na agricultura, destinando-se principalmente a irrigação); a indústria é responsável por 22%, enquanto o consumo doméstico (casa, água potável, saneamento) não ultrapassa 8% (Unesco, 2003).

No entanto, estas médias globais variam muito com a região do globo. Nos países em desenvolvimento, por exemplo, a agricultura consome 82% de toda a água retirada para uso humano, enquanto o uso doméstico responde por 8% e 10% da indústria. Por sua vez, nos países desenvolvidos a maior parte da água é usado para a indústria, que consome cerca de 59%, enquanto a agricultura e o consumo doméstico são responsáveis por 30% e 11%, respetivamente (*Cf. Figura 24 -Anexo A*).

De acordo com a OMS, alcançar o índice recomendado de higiene e bem-estar, implica o consumo de 50 a 100 litros de água por dia. No entanto, como apresentado anteriormente, a média diária de consumo de água é muitas vezes superior aos 100 litros (*Cf. Figura 25 - Anexo A*).

Como é possível observar, o Canadá é um dos países onde a população mais consome água todos os dias. Em média, 600 litros por pessoa são gastos, um valor absurdo se pensarmos na quantidade de água disponível no planeta.

No entanto, na extremidade oposta da linha, situam-se os países da África Subsaariana, vivendo com menos de 20 litros água por dia, ou seja, menos da metade do mínimo recomendado pela OMS. Com efeito, os países que mais gastam são os que possuem menos reservas de água (exceto o Canadá).

Como se sabe, nos países da África e Ásia, como o que se refere no contexto em análise nesta dissertação, ainda existem múltiplas zonas sem água canalizada, pelo que recorre-se a colheita de água nos poços, lagos, rios, percorrendo-se muitas vezes largas distância.

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), Cabo Verde conseguiu desde 2007, atingir os Objetivos do Desenvolvimento do Milénio em matéria de abastecimento de água, apesar de ainda se registar algumas assimetrias regionais e até mesmo locais. De acordo com os dados do Censo 2010, cerca de 92% das famílias cabo-verdianas obtém a água para uso doméstico através de uma fonte segura de abastecimento, (rede pública, chafarizes ou autotanques). Realça-se que apesar desses números o abastecimento da água à população Cabo Verdiana é deficitário uma vez que, a distribuição deste recurso é feita em quantidade limitada.

Segundo a OMS, a fonte de água deve estar dentro de 1000 metros da casa e o tempo de coleta não deve exceder 30 minutos (Nações Unidas, 2010).

A mesma fonte alerta para o facto de a distância média percorrida por uma mulher (habitualmente a principal responsável pela coleta de água em África e Ásia para obter água) é de 6 km, isto é, seis vezes superior ao limite estabelecido (1 km) pela ONU.

I.5. Organização da dissertação

Esta dissertação encontra-se organizada em seis capítulos, sendo que o primeiro é dedicado à introdução. No segundo, intitulado Qualidade da água e parâmetros indicadores, procura-se explorar os Decretos-Lei vigente em Cabo Verde e em Portugal destacando os limites paramétricos indicados. O terceiro capítulo é dedicado à caracterização da área de estudo. No quarto capítulo, apresenta-se a metodologia da investigação, onde se discutem os métodos e técnicas utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. São apresentados no quinto capítulo os resultados e discussões, onde se caracterizam as amostras de água em estudo. Finalmente, no sexto e último capítulo, apresenta-se a conclusão incluindo medidas para melhorarem a qualidade de água, salvaguardando a saúde humana.

CAPÍTULO II. QUALIDADE DA ÁGUA E PARÂMETROS INDICADORES

A cada dia que passa o tema da qualidade da água tem-se tornado uma preocupação da sociedade em geral, sendo que se tornou necessário criar legislação para uniformizar os valores paramétricos das substâncias presentes na água para o consumo humano. Apesar de existir um valor padrão para cada elemento presente na água, fornecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS), cada país adota a sua própria legislação, uma vez que as condições ambientais variam de país para país, embora respeitando os valores estabelecidos pela OMS. De uma maneira geral, os quadros legais nacionais impõem também a necessidade de fazer a monitorização da qualidade de água de forma regular.

II.1. Quadros legais relativos à qualidade água

Os aspetos da qualidade da água, cada vez mais, são interiorizados como fundamentais para garantia da saúde das comunidades. Por isso torna-se indispensável a criação de normas que regulem e que controlem a qualidade da água destinada ao consumo humano e à rega. Assim, em países como Cabo Verde e Portugal, existem normativas como o Decreto-Lei nº8/2004 de 23 de Fevereiro da República de Cabo Verde, o Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto e o Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto de Portugal, que apresentam algumas definições, de interesse, designadamente:

•**Qualidade da água**- assume-se como um conjunto de valores de parâmetros físicos, químicos, biológicos e microbiológicos da água que permite avaliar a sua adequação para determinados usos diretos ou potenciais.

•**Controlo**- representa o conjunto de ações de avaliação da qualidade da água realizadas com carácter regular pelas entidades gestoras com vista à manutenção permanente da sua qualidade, em conformidade com as normas estabelecidas legalmente.

A verificação da conformidade de qualidade água de acordo com as legislações anteriormente mencionadas afigura-se como um conjunto de critérios que permitem verificar se a qualidade da água é avaliada nas condições e com a frequência estipulada, bem como se cumpre a norma ou padrão de qualidade referente a determinado uso.

Os quadros legais são baseados em normas ou padrões de qualidade, que são valores de parâmetros físicos, químicos, biológicos e microbiológicos que definem uma qualidade da água aceite para determinado uso.

Na Europa há a diretiva europeia de qualidade água, que foi transcrita para Portugal através dos Decretos-Lei nº 236/98 e nº 306/2007, que estabelecem um valor máximo admissível (VMA), um valor máximo recomendado (VMR) e um valor paramétrico (VP):

-Valor máximo admissível» ou «VMA» — representa o valor de norma de qualidade que não deverá ser ultrapassado;

-Valor máximo recomendado» ou «VMR» — diz respeito ao valor de norma de qualidade que, de preferência, deve ser respeitado ou não excedido (Decreto-Lei nº8/2004);

-Valor paramétrico ou «VP» - o valor máximo ou mínimo fixado para cada um dos parâmetros a controlar (Decreto- Lei 306/2007).

No contexto deste trabalho, focado na realidade do concelho de São Domingos, enfatiza-se a qualidade da água para consumo humano e qualidade da água para rega.

No apêndice A apresentam-se os padrões de controlo de qualidade em distintas normativas, permitindo uma análise comparativa das exigências estabelecidas pela legislação de Cabo Verde e Portugal, tendo ainda como referência os valores apresentados pela OMS na sua quarta edição.

O conteúdo do apêndice A mostra que não há uma discrepância considerável entre os valores paramétricos apresentados nos decretos legislativos de Portugal e Cabo Verde no que se refere à água para o consumo humano. Não obstante, pode-se constatar que em alguns parâmetros os valores não são iguais apesar de apresentarem diferenças mínimas. Comparando os valores paramétricos com os valores de referência apresentados pela OMS, vê-se claramente que existe uma diferença considerável, no entanto, os valores máximos estabelecidos pelos dois países não ultrapassam os limites definidos pela OMS, cumprindo assim os requisitos mínimos exigidos por esta entidade. Porém, existem alguns parâmetros cujos valores foram apresentados nos quadros legislativos dos dois países, que a OMS não referia.

Relativamente ao uso de água para rega apresentam-se apenas os valores paramétricos que constam no Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto de Portugal, uma vez que a legislação cabo-verdiana e a OMS abarcam apenas os parâmetros de qualidade de águas subterrâneas destinadas à produção de água para consumo humano, não dando ênfase à qualidade de água para a rega.

Convém destacar que as justificações de alguns valores paramétricos do Decreto-Lei nº8/2004 de 23 de Fevereiro da República de Cabo Verde e do Decreto – Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto encontram-se descritas nas observações e nas notas anexadas aos diplomas.

II.2. Parâmetros físico-químicos de qualidade da água

Segue-se uma apresentação dos parâmetros físico-químicos que permitem fazer o diagnóstico de uma massa de água, sob o ponto de vista da sua qualidade. Esses parâmetros encontram-se

subdivididos em três grupos, de acordo com a classificação proposta por Lima (2010): parâmetros globais; componente maioritária (ânions e cátions) e componente vestigiária.

II.2.1- Parâmetros Globais

a) Temperatura

A temperatura afeta os processos e parâmetros hidroquímicos, tais como o teor de oxigênio dissolvido, a cinética das reações e a capacidade dos seres vivos para resistir a certos poluentes (USGS, 2014).

No caso das águas subterrâneas, a sua temperatura está condicionada pelo tipo de terreno em que circulam, a qual está parcialmente dependente da temperatura atmosférica, na parte mais superficial, e, sobretudo, do calor interno da terra gerado por diversos processos, nomeadamente a desintegração radioativa de elementos como o urânio e o tório. Normalmente a temperatura das águas subterrâneas pouco profundas aproxima-se da temperatura média anual do ar, já que a sua origem é exclusivamente meteórica e as profundidades de circulação não são suficientes para provocar incremento térmico por efeito do gradiente geotérmico (Lima, 2010).

Em síntese, quer em ambiente subterrâneo, quer nos corpos de água superficial, a temperatura é um parâmetro de extrema importância uma vez que afeta a taxa das reações químicas e biológicas assim como a solubilidade dos gases (O_2 e H_2S).

b) Turvação

A turvação da água deve-se à presença de partículas em suspensão, especialmente coloidais, tais como: argilas, partículas de sílica, matéria orgânica, etc. A avaliação da abundância destas partículas conduz ao parâmetro turbidez ou turvação.

A turvação torna a água turva ou opaca.

Nas águas de consumo obtidas a partir de fontes subterrâneas, a turvação aparece normalmente quando existe ferro e a água é tratada com produtos à base de cloro. No entanto, a turvação por si só não constitui risco para a saúde, mas compromete a desinfecção seja por cloração seja por radiação ultravioleta (Sousa, 2001).

A turvação é normalmente medida por turbidimetria, método que faz incidir um foco de luz através da água, gerando um resultado que é relatado em unidades de turbidez (unidades nefelométricas -NTU) (USGS, 2014).

c) pH

O pH de uma solução indica a concentração efetiva de iões de hidrogénio, H^+ . Por definição, pH é o logaritmo negativo da concentração do ião hidrogénio, expressa em moles por litro.

$$pH = -\log H^+$$

O pH descreve a composição da água: pH 7 indica água neutra, valores menores indicam água ácida, e valores mais altos indicam água básica. O pH é controlado por várias reações e pela presença de diferentes compostos. Nos sistemas de água doce o sistema carbonato de $CO_2-HCO_3-CO_3$ desempenha um papel fundamental na definição do pH.

Na água quimicamente pura, os iões H^+ estão em equilíbrio com os iões OH^- e seu pH é neutro, ou seja, igual a 7. a presença de H_2S ou de ácido sulfúrico conduz a baixos valores de pH (Mazor, 1991).

Os pHs na gama ácida também podem ser decorrentes da decomposição da matéria orgânica vegetal presente nos sedimentos aluvionares, que gera ácidos húmicos e fúlvicos, os quais, por sua vez, em solução, baixam o pH.

O pH das águas subterrâneas varia geralmente entre 5,5 e 8,5 (Pedrosa & Caetano, 2002), muitas são levemente básicas devido à presença de bicarbonatos e carbonatos alcalinos ou alcalino terrosos obtidos a partir do gás carbónico dissolvido (Nollet, 2007).

O pH influencia o equilíbrio geoquímico e a solubilidade de muitas espécies incluindo metais na água subterrânea. Para valores de $pH < 5$, os metais são mais facilmente solubilizados, incrementando assim a sua toxicidade. Para valores mais elevados de pH, os metais são geralmente menos móveis e, conseqüentemente, menos biodisponíveis, na medida em que tendem a precipitar (Mestrinho, 2006).

Segundo Mazor (1991) o valor do pH medido no campo é um parâmetro muito importante para avaliar a qualidade de uma água, nomeadamente quanto ao seu potencial de corrosão e características de gosto.

O pH é determinado através de um elétrodo de ião hidrogénio de vidro com potencial conhecido. A calibração é realizada com soluções tampão de pH conhecido, normalmente pH 4, pH 7 e pH 9.4

d) Resíduo seco e total de sais dissolvidos

O resíduo seco é o peso de material resultante da evaporação de um litro de água, determinado aquecendo a amostra a $180^\circ C$ ou $110^\circ C$ numa estufa seca.

Por sua vez o total de sais dissolvidos, representa o total de substâncias dissolvidas, voláteis ou não (Rubio & Magán, 1998).

Normalmente as operações de secagem são as que definem os diversos sólidos presentes na água. Os métodos empregues para a determinação de sólidos são gravimétricos, utilizando-se uma balança analítica ou de precisão.

Contudo, o procedimento para conhecer a quantidade de sais dissolvidos na água pode consistir em determinar o seu resíduo seco. De acordo com a temperatura de secagem, pode obter-se ligeiras diferenças de peso no resíduo seco. Esta é a consequência de que a 110°C este é precipitado na forma de bicarbonatos e gesso, enquanto, a 180°C só existem carbonatos e o gesso sofreu desidratação (Rubio & Magán, 1998).

A determinação de resíduo seco é essencialmente gravimétrica e a sua precisão é de 1 a 5%. O cálculo do resíduo seco está em desuso, sendo cada vez mais substituído pela determinação do total de sais dissolvidos (Custodio & Llamas, 1996).

e) Condutividade Elétrica e Sólidos Dissolvidos Totais

A condutividade elétrica é a capacidade de uma água para conduzir eletricidade; mede-se como a condutividade que existe entre dois elétrodos paralelos de 1 cm² de superfície cada um e separados um centímetro localizados dentro da água, de modo que os meios de medição podem ser considerados infinitos. A condutividade cresce com a temperatura, sendo que para cada aumento de 1° C na temperatura da solução, corresponde um acréscimo de 2% na condutividade (Custodio & Llamas, 1996). Por este motivo, a medição da condutividade elétrica faz-se a uma temperatura de referência, que normalmente é de 25°C.

Atualmente, praticamente todos os equipamentos disponíveis no mercado, utilizados para medir a condutividade de uma água e conhecidos por condutivímetros, já fornecem o valor corrigido de acordo com a temperatura padrão (Lima et al, 2013).

Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica, pode-se estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma água a uma dada temperatura. O teor em sais é aproximadamente dois terços do valor obtido para a condutividade (Pedrosa & Caetano, 2002).

Uma relação aproximada entre a condutividade e teor de sólidos dissolvidos na água é mostrada na tabela 1 (www.aplanetaágua.com.br/novo/parâmetrosanaliticos.asp).

Tabela 1- Relação entre condutividade elétrica e sólidos dissolvidos.

Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Sólidos dissolvidos
<1000	0,68 x Condutividade
1000 – 4000	0,75 x Condutividade
4000 – 10000	0,82 x Condutividade

*** Essa relação apenas é verdadeira caso o pH da água esteja entre 6,5 e 8,5**

Segundo McNeely (1979), dependendo da quantidade dos sólidos dissolvidos, a água pode ser classificada em:

- ♦ Doces (TDS <1000 ppm);
- ♦ Ligeiramente salobras (1000 <TDS <3000 ppm);
- ♦ Moderadamente salobras (3000 <TDS <10000 ppm);
- ♦ Salgadas (10000 <TDS <100000 ppm)
- ♦ Salmouras (TDS > 100000 ppm)

f) Alcalinidade e Acidez

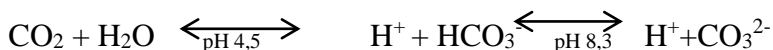
A alcalinidade é a capacidade da água em aceitar prótons, ou seja, a capacidade para neutralizar ácidos. A alcalinidade mede o efeito da presença de ácidos fracos e dos bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}), hidróxidos H_3SiO_4^- e PO_4^{3-} de entre outros (Custodio & Llamas, 1983).

Sais de ácidos fracos podem também ser ensaiados e interferir com a medição: ácidos húmicos, fosfatos, citratos, etc. O composto iónico de sílica pode também interferir especialmente quando o pH está acima de 8,5 (Rodier, 2009)

À exceção do bicarbonato (HCO_3^-), os restantes aniões estão normalmente nas águas em muito baixas concentrações, pelo que, na maioria das águas subterrâneas a alcalinidade está maioritariamente relacionada com os teores de bicarbonato (Lima, 2010).

Uma das origens naturais da alcalinidade é a dissolução do CO_2 na água. Uma vez em solução ele reage para formar o ácido carbónico.

Normalmente para calcular a alcalinidade (CaCO_3) em termos de mg por litro é utilizada a seguinte equação:



Alcalinidade CaCO_3 mg/L = mL do titulante \times normalidade do ácido \times 50.000/mL da amostra

Do ponto de vista sanitário, a alcalinidade não tem significado relevante, mesmo para valores elevados (e. g., 400 mg/L de CaCO_3). No entanto, as águas de alta alcalinidade são desagradáveis ao paladar e associadas a pH elevado, excesso de dureza e de sólidos dissolvidos, conjunto de características que se torna prejudicial (Peixoto, 2011).

A acidez é a capacidade da água resistir às mudanças de pH causadas pelas bases. É raro que as águas naturais tenham acidez*. Pode produzir a acidez a oxidação de sulfureto, hidrólise de iões de Fe, Al e NH_4^+ . A oxidação de sulfatos precisa de muito oxigénio e só pode dar acidez importante nas proximidades do nível freático e no meio saturado (Custodio & Llamas, 1996).

Sob o ponto de vista de saúde pública, a acidez tem relativamente pouca importância. Refira-se que muitos dos refrigerantes consumidos contêm muito mais anidrido carbónico do que a água potável, sem que esse facto provoque qualquer doença a quem os bebe.

No entanto, uma água ácida afeta a conservação de sistemas de saneamento básico e o funcionamento biológico de estações de tratamento de águas residuais. Assim, quando são utilizados processos de tratamento biológico há necessidade de manter os valores do pH entre 6 a 9,5. Além disso, uma água ácida ataca, por corrosão, as canalizações e os reservatórios (Sousa, 2001).

g) Dureza Total

A dureza de uma água está relacionada com a concentração de iões suscetíveis de reagirem com sabão sódico, provocando a sua precipitação. Esta precipitação ocorre principalmente pela reação dos iões cálcio e magnésio presentes nas águas, mas outros catiões polivalentes podem também contribuir para a dureza, como é o caso de Sr^{2+} , do Fe^{2+} e do Mn^{2+} . Estes elementos aparecem na água em concentrações baixas e, quando presentes estão sob forma de complexos, frequentemente com constituintes orgânicos, pelo que o seu contributo para a dureza da água é mínimo e difícil de quantificar. Segundo Greenberg et al (1992) a dureza de uma água é definida como a soma dos iões cálcio e magnésio, expressa sob a forma de mg/l de CaCO_3 , podendo ser determinada pela expressão:

$$\text{Dt (mg/LCaCO}_3\text{)} = 2,497 [\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/L)}] + 4,118 [\text{Mg}^{2+} \text{ (mg/L)}]$$

Quando o valor da dureza é superior à alcalinidade carbonatada, a quantidade equivalente à da alcalinidade designa-se por “dureza carbonatada” e resultada solubilização do carbonato de cálcio ou magnésio, por conversão do carbonato em bicarbonato Greenberg et al (1992), e resulta da solubilização do carbonato da cálcio ou magnésio, por conversão do carbonado e bicarbonato. No entanto, esta dureza pode ser removida por aquecimento.

* - Não se pode confundir acidez de uma água com a propriedade de ser ácida ou seja se tem pH menor que 7.

Quando o teor de dureza é superior à soma dos carbonatos e bicarbonatos alcalinos, ou seja causado pela presença de iões de cálcio e magnésio ocorre a precipitação do carbonato de cálcio e/ou carbonato de magnésio, sendo que a dureza equivale à alcalinidade total, que é designada dureza carbonatada ou temporária (Gray, 2008).

Segundo Custódio e Llamas (1983), as águas com dureza total inferior a 50 mg/L CaCO₃ são do tipo brandas, de 50 a 100 mg/L CaCO₃ são pouco duras, de 100 a 200 mg/L CaCO₃ são duras e acima de 200 mg/L CaCO₃ são muito duras. A dureza da água varia geograficamente, dada a natureza geológica dos terrenos que a água atravessa e com os quais tem contacto. Uma água dura está associada a zonas onde os solos são de natureza calcária ou dolomítica e uma água macia está associada a zonas onde os solos são de natureza granítica ou basáltica.

Em geral, as águas subterrâneas, pelo seu maior contacto com as formações geológicas, são mais duras que as águas de superfície.

h) Sílica total (SiO₂)

O silício é, a seguir ao oxigénio, o elemento mais abundante da crosta terrestre. Normalmente aparece sob a forma de óxido (sílica) no quartzo e surge combinado com metais em vários outros minerais que constituem a classe dos silicatos. A maior parte da sílica (SiO₂) presente nas águas é resultante do ataque das águas aos silicatos. Krauskopf (1967) fez algumas experiências onde provou que a sílica em solução está na maior parte das vezes sob a forma de ácido silícico (H₄SiO₄) não ionizado (Falcão, 1978). Tal resulta do facto de que a sílica proveniente da alteração dos minerais silicatados se combina-se com duas moléculas de água, resultando na seguinte equação:



A sílica, quando apresenta moderadas correlações com o ferro e o níquel, terá sua origem na dissolução dos minerais ferro magnesianos dos anfíbolitos e também proveniente dos feldspatos (Beato et al, 1999).

Celligoi e Duarte (2002), consideram que águas provenientes de arenitos com baixo tempo de residência um teor relativamente reduzido de sílica, uma vez que neste tipo de rocha a sílica encontra-se praticamente toda nos minerais essenciais como o quartzo, sendo muito menos solúvel do que na forma de sílica combinada. Logo, por oposição, uma grande concentração de sílica pode indicar água proveniente de terrenos vulcânicos ou bacias sedimentares formadas a partir da erosão das rochas vulcânicas (Padua, 2005).

Segundo o mesmo autor a alteração das rochas que contêm silicatos na sua composição resulta na presença de sílica nas águas naturais, sob a forma de partículas em suspensão, em estado coloidal ou polimérico.

i) Oxigénio dissolvido

É definido como o oxigénio presente numa determinada amostra de água. Serve para avaliar se o meio é aeróbico ou anaeróbico e por vezes a sua capacidade para oxidar. A unidade utilizada para a sua determinação é mg/L de O₂ ou percentagem de saturação (Rubio & Magán, 1998).

Todos os organismos vivos estão dependentes, de uma forma ou de outra, do oxigénio para manter a atividade metabólica que produz energia para o crescimento e para a reprodução.

Nas massas de água, a solubilidade do oxigénio depende de diversos fatores, dos quais se salientam a pressão atmosférica, a temperatura e a salinidade. À medida que a temperatura e a salinidade aumentam, a solubilidade do oxigénio diminui. A baixa solubilidade do oxigénio na água limita a capacidade de autodepuração das águas naturais, o que torna necessário o tratamento das águas residuais antes da sua descarga nos meios recetores (linhas de água, lagos, naturais ou artificiais, e oceanos) (Gaur, 2008).

O teor em oxigénio dissolvido de uma água varia consoante a sua origem. Assim, enquanto as águas superficiais não poluídas podem conter quantidades apreciáveis de oxigénio, muitas vezes em condições de sobressaturação, as águas subterrâneas profundas só contêm geralmente alguns mg/L. As variações dos teores de oxigénio dissolvido são de grande importância, principalmente nos casos de diminuição. Como se referiu, um aumento da temperatura conduz a uma diminuição do teor em oxigénio dissolvido porque diminui a sua solubilidade e aumenta o número de microrganismos consumidores de oxigénio (Sousa, 2001).

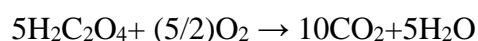
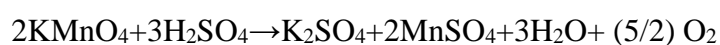
j) Oxidabilidade

Oxidabilidade é um ensaio que permite a determinação indireta do teor de matéria oxidável (MO) presente numa água, sendo o seu resultado expresso em oxigénio consumido, utilizando o permanganato de potássio em meio ácido, como agente oxidante, e a quente. Trata-se, assim, de uma estimativa da matéria orgânica presente na água, como também da matéria inorgânica oxidável nas condições teste. Na interpretação deste parâmetro, devem considerar-se as características químicas da água, tais como o teor em carbono orgânico, a presença de amónio, nitritos, entre outros (Apda, 2012).

A origem da oxidabilidade relaciona-se com a presença de matéria derivada de várias fontes, principalmente de atividades antropogénicas, tais como, presença de resíduos agrícolas, urbanos e industriais e também de fontes naturais como resíduos de plantas e animais (Nollet, 2007). Com efeito, as substâncias orgânicas podem ocorrer em concentrações variadas nas águas, em função da natureza e origem dessas águas (Mendes & Oliveira, 2004).

A presença de matéria orgânica oxidável poderá, em certas condições, ser precursora de subprodutos de desinfecção, dependente do processo de desinfecção aplicado no tratamento de água (Apda, 2012).

O resultado é expresso em oxigénio consumido, O_2 (mg/l). Neste processo ocorrem as seguintes reações químicas:



Relativamente à saúde humana a presença de matéria oxidável não tem efeito direto. Não obstante, e dependendo do tipo de compostos presentes na água, poderão existir efeitos indiretos na saúde, designadamente quando associada à formação de compostos organoclorados resultantes da desinfecção da água por compostos de cloro.

II.2.2- Componente Maioritária

1- Aniões macro constituintes

a) Bicarbonato (HCO_3^-) e Carbonato (CO_3^{2-})

O bicarbonato é a fase mais estável para o pH menor que 10. Procede fundamentalmente da dissolução de CO_2 atmosférico e do solo, bem como dos carbonatos, essencialmente calcários e dolomites das litologias encaixantes.

Nas águas naturais com pH entre 7 e 8, os carbonatos ocorrem maioritariamente na forma de HCO_3^- (ião bicarbonato), com vestígios de ácido carbónico (ou dióxido de carbono). Quando o pH é superior a 8,3 predominam os iões carbonato (Rodier, 2009).

Segundo Rodier (2009), a determinação do teor de carbonatos pode ser conseguida de forma muito simples através da análise.

O ião bicarbonato CO_3H^- , varia entre 50 e 350 ppm em águas doces podendo chegar a atingir os 800 ppm. A água do mar possui à volta de 100 ppm. O ião carbonato CO_3^{2-} encontra-se em concentrações muito menores que o CO_3H^- e se o pH <8,3 considera-se zero. Em águas alcalinas com pH > 8,3 pode haver quantidades importantes até 50 ppm em algumas águas naturais. Destaca-se que a água do mar possui menos de 1 ppm (Custodio & Llamas, 1996).

b) Cloreto (Cl⁻)

O cloro é o elemento mais abundante do grupo dos halogéneos. Apesar de ocorrer em vários estados de oxidação, desde Cl⁻¹ até Cl⁺⁷, em forma mais reduzida o cloreto (Cl⁻) é a única expressão em água em contacto com a atmosfera (Hem, 1985).

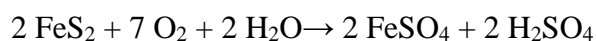
Os cloretos das águas naturais resultam da lixiviação das rochas e dos solos com as quais as águas contactam, e nas zonas costeiras, da intrusão salina. As águas de montanha contêm, em geral, baixos teores de cloretos, enquanto as águas subterrâneas e de rios apresentam concentrações elevadas. Para além disso, as águas residuais das atividades agrícolas, industriais e domésticas constituem uma outra fonte de cloretos. A água do mar por exemplo possui em média de 19000 a 24000ppm (Rubio & Magán, 1998).

No controlo da qualidade das águas, relativamente aos cloretos, interessa mais saber se este valor se mantém constante do que o seu valor real, desde que este não exceda 600 mg/L, valor considerado, pela OMS, como máximo admissível para abastecimento público.

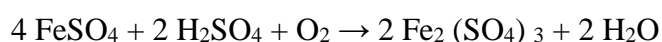
c) Sulfato (SO₄²⁻) e Fosfatos (PO₄²⁻)

O sulfato é um constituinte natural da água e essencial à vida. A concentração de sulfatos em águas naturais é muito variável, por razões geológicas e antropogénicas como, por exemplo, a adição de fertilizantes que contêm enxofre (Mendes & Oliveira, 2004).

Na água subterrânea o sulfato pode ter origem na oxidação da pirite, conforme a reação:



O sulfato ferroso em presença de excesso de oxigénio passa a sulfato férrico:



O ciclo pode continuar e o sulfato pode ser reduzido a sulfureto devido à ação orgânica. O sulfato férrico hidrolisa-se dando o respetivo óxido hidratado, permanecendo apenas em solução em águas com pH menores que 4. O óxido hidratado formado precipitará assim que as águas emergirem à superfície, onde se verificam condições oxidantes (Falcão, 1978).

O fósforo pode existir na água em solução ou em suspensão. O fósforo total dissolvido inclui o fósforo orgânico e inorgânico que por sua vez inclui o ortofosfato e polifosfatos. Os ortofosfatos são representados pelos radicais, que se combinam com catiões formando sais inorgânicos nas águas e os polifosfatos, ou fosfatos condensados, polímeros de ortofosfatos. Esta terceira forma não é muito importante nos estudos de controlo de qualidade das águas, porque sofre hidrólise, convertendo-se rapidamente em ortofosfatos (Rodier, 2009).

Destaca-se que o fósforo aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregues em larga

escala domesticamente constituem a principal fonte. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas de drenagem de áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo nas águas naturais (Cetesb, 2009).

d) Nitrato (NO_3^-) e Nitrito (NO_2^-)

O nitrato ocorre nas águas por dissolução de rochas como os evaporitos (Cetesb, 2009) ou por oxidação bacteriana de matéria orgânica de origem animal.

A sua presença na água deve-se à composição da matéria orgânica, à contaminação por aplicação de fertilizantes agrícolas efluentes de explorações pecuária intensivas, efluentes urbanos e industriais lixiviados de vazamento de resíduos sólidos (Rubio & Magán, 1998).

Segundo Hindi, (2001) a presença de nitrato, principalmente se associado a cloreto e sódio é indicador de contaminação por efluentes domésticos. O nitrato é facilmente dissolvido nas águas subterrâneas e é muito móvel em fluxos subsuperficiais, difundindo-se muito rapidamente através do meio fraturado em subsuperfície (Scopel et al, 2005).

Os nitritos (NO_2^-) são produto da oxidação do amónio ou da redução dos nitratos. Na água, em condições de oxidação normais, a conversão dos nitritos em nitratos é quase imediata. A sua presença na água deverá, por isso ser pontual e temporária, indicadora de uma contaminação recente.

Os nitritos não ocorrem, tipicamente, em águas naturais em níveis significativos. Quando existem, causam problemas sérios e por vezes a morte, principalmente em crianças com idades inferiores a 6 meses (Udech, 2004).

Quando consumidos diretamente ou formados no estômago na sequência da redução dos nitratos, fixam-se na hemoglobina e possibilitam o desenvolvimento de uma doença chamada metahemoglobinemia ou cianose (ou doença do bebé azul) que leva à morte por asfixia (Gaur, 2008).

Qualquer acumulação de nitritos reflete a existência de processos inibitórios da formação dos nitratos. As suas concentrações são, em regra, relativamente reduzidas, raramente excedendo, nas águas superficiais, valores de 1mg/L.

e) Fluoreto (F^-)

O flúor é um elemento encontrado em pequenas quantidades nas águas subterrâneas. Segundo Martins et al., (2002) a mineralização com flúor deve estar associada à percolação das águas por veios hidrotermais e, também, pela dissolução de minerais como apatite,

fluorite, biotite e anfíbolos, passando para as soluções aquosas na forma de íões fluoreto, de alta mobilidade.

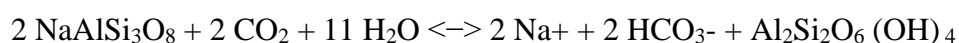
O fluoreto pode formar complexos estáveis com elementos como Al, Fe, B e Ca.

O flúor é também originado em atividades industriais como siderurgia, fundições, fabricação do alumínio, de louças e esmaltados, vidros, entre outros (Zimbres, 2005). Segundo Scopel et al. (2005), devido à falta de uma fonte de fluoreto no basalto, este íão não é comum em concentrações elevadas na água que circulam neste tipo de litologias.

2- Catiões macro constituintes

a) Sódio (Na) e Potássio (K)

O sódio é o elemento químico mais encontrado nas águas subterrâneas. As suas principais fontes são as plagioclases química (sódicas), as quais são pouco resistente aos processos do intemperismo químico (Pedrosa & Caetano, 2002) e os minerais de argila (Pádua, 2005), de acordo com a seguinte equação.



A presença do sódio na água subterrânea também pode estar relacionada com o fenómeno da intrusão salina, ocorrendo nas regiões costeiras onde os aquíferos estão em contacto com a água do mar.

O potássio é o sétimo elemento mais abundante na crosta terrestre, com uma concentração média de 25000 ppm (2,59%), ligeiramente inferior à do sódio (28300 ppm). A presença de potássio na água deve-se principalmente à hidrólise dos feldspatos, e em condições pontuais à dissolução de sulfatos, nitratos e cloretos. É geralmente encontrado numa proporção dez vezes inferior ao sódio, o que também se relaciona com o processo de troca iónica nas argilas, as quais trocam seletivamente o K^+ por Na^+ . O potássio é o elemento essencial ao desenvolvimento vegetal o que condiciona o seu comportamento hidroquímico (Lima, 2010). Apesar de ser um nutriente essencial, o ser humano encontra dificuldades em lidar com concentrações excessivas de potássio, o que resulta em stress nos rins ou mesmo uma possível falha renal (Gray, 2008).

b) Cálcio (Ca^{2+})

O cálcio é, frequentemente, encontrado em águas devido à riqueza do elemento em rochas silicatadas e carbonatadas (Falcão, 1978) e está geralmente sob a forma de carbonato e bicarbonato. As principais fontes de cálcio são a calcite, aragonite, dolomite, anidrite e gesso. Nas rochas ígneas e metamórficas, as fontes de cálcio são os seguintes minerais: apatite,

wollastonite, fluorite, feldspatos cálcicos, anfíbolos e piroxenas. O carbonato de cálcio é muito pouco solúvel em água pura. No entanto, no processo de meteorização, o cálcio é solubilizado sob a forma de bicarbonato e a sua solubilidade depende da quantidade de gás carbônico dissolvido, que por sua vez, depende da temperatura e da pressão (Pedrosa & Caetano, 2002). A concentração de cálcio nas águas subterrâneas potável pode chegar até 1000 mg/L sem que se reconheçam efeitos prejudiciais na saúde humana.

c) Magnésio (Mg)

O magnésio (Mg) está entre os elementos mais abundantes na crosta terrestre e é um constituinte comum nas águas naturais. Os minerais ferromagnesianos das rochas magmáticas e os carbonatos de magnésio das rochas carbonatadas são duas das fontes mais importantes de magnésio (Simons, 2010). A sua concentração na água subterrânea deve-se à dissolução de dolomites e numerosos silicatos que contêm magnésio, troca catiónica, intrusão de água de mar etc.. De uma maneira geral encontra-se em menor proporção que o cálcio, ainda que nas águas marinhas possa ser até cinco vezes mais abundante (Rubio & Magán, 1998).

d) Lítio (Li)

O lítio é um elemento encontrado em quantidades muito pequenas na água, na ordem de poucos microgramas por litro ($\mu\text{g/L}$).

Segundo Falcão (1978), a origem deste elemento numa água natural nem sempre é clara, podendo ser de origem juvenil ou dever-se-á erosão, resultando da solubilização de minerais litiníferos, como as micas (amblygonite). Pode ser também proveniente de evaporitos onde substitui o sódio em pequenas quantidades.

II.2.3. Componente vestigiária

Descrevem-se alguns parâmetros de componente vestigiária que foram selecionadas pela relevância que podem ter no contexto geológico em estudo.

a) Ferro (Fe)

O ferro é o segundo metal mais abundante da crosta terrestre, da qual constitui cerca de 5%.

Segundo Bartram e Ballance (1996), um aumento no potencial de oxidação-redução da água converte o ferro ferroso (+2) em ferro férrico (+3) e permite que este se hidrolise e precipite na forma de óxido férrico hidratado.

Normalmente nas águas subterrâneas, o ferro ferroso (+2) é relativamente solúvel, principalmente quando se encontra em águas ligeiramente ácidas. A lixiviação de sais de

ferro e resíduos de produtos ferrosos industriais podem também ser fontes poluidoras (Dezuane, 1997).

A concentração de ferro em águas naturais varia entre 0,5 e 50 mg/L. Em águas subterrâneas, em condições anaeróbias, com presença de ferro (II), as concentrações são da ordem dos 0,5 a 10 mg/L, mas também podem ocorrer valores acima de 50 mg/L. Em águas de nascente mineralizadas, com um total de sólidos dissolvidos da ordem de 500 mg/L, o sabor conferido pelo ferro só é detectado acima de 120 µg/L de ferro (Apda, 2012).

Na água de abastecimento o ferro ocorre normalmente em consequência da sua utilização nos processos de tratamento, como agente de coagulação, ou, no transporte e distribuição, quando há corrosão dos materiais usados, como ferros fundidos, aços e galvanizados. Está sempre acompanhado pelo manganês. O ferro aparece principalmente devido à dissolução do material rico em ferro pelo gás carbônico da água, conforme a reação (Cetesb, 2005).

b) Manganês

O manganês não é um constituinte principal dos silicatos, mas pode substituir o ferro e o magnésio na estrutura de minerais como as granadas, olivinas, piroxenas, anfíbolos e micas (Hem, 1985).

O manganês é amplamente encontrado em rochas e em minérios e, como o ferro, transforma-se, nas águas subterrâneas, na sua forma solúvel, devido às condições dos solos e das rochas (Gray, 2008).

Pode causar problemas de lavandaria e de manchas, possuindo alguma similaridade com o ferro, mas as manchas e os depósitos são mais escuros e mais persistentes. Apesar de existir em quantidades reduzidas nas águas superficiais e em maior quantidade nas águas profundas devido ao baixo teor de oxigênio, pode causar problemas acentuados porque raramente ocorre sozinho, geralmente coexiste com o ferro (Riter, 2010).

É usado principalmente na produção de aço e de aço inoxidável. O dióxido de manganês e outros compostos de manganês são usados na produção de baterias, vidro e pirotecnia. O manganês é um elemento essencial aos seres humanos, sendo que para uma alimentação equilibrada, os adultos devem ingerir em média cerca de 3,5 – 7,0 mg/dia. A ingestão através da água de consumo humano pode variar muito, mas é muito menor quando comparada com a ingestão através dos alimentos (Apda, 2012).

De acordo com Reimann e Caritat (1998), a concentração mediana de manganês nas águas subterrâneas é de 7,5 µg/L.

c) Alumínio

O alumínio é o elemento metálico mais abundante e constitui cerca de 8% da crosta terrestre. Na natureza não surge na sua forma pura, ocorrendo na forma de silicatos, óxidos e hidróxidos, combinado com outros elementos, tais como o sódio e fluoreto, e em complexos com a matéria orgânica. É constituinte maioritário de minerais como os feldspatos, micas e minerais de argila (Lima, 2010).

Os níveis de alumínio na água de consumo humano dependem da sua ocorrência na litologia ou da sua utilização como coagulante (na forma de sulfato de alumínio) para o tratamento da água visando a redução dos níveis de matéria orgânica, cor, turvação e microrganismos (Apda, 2012).

Segundo a OMS, o teor de alumínio acima do qual pode haver efeitos na saúde é de 900 µg/L. No entanto, esta entidade não estabelece um valor padrão uma vez que aquele valor excede largamente os níveis de otimização do processo de coagulação com recurso a coagulantes de alumínio. Os alimentos constituem a principal fonte de exposição humana ao alumínio, sendo que, de forma geral, a contribuição pelo consumo de água constitui menos de 5% da ingestão total diária.

Vários estudos efetuados em laboratório, concluem haver a possibilidade de a exposição ao alumínio ser um fator de risco para o desenvolvimento de doenças degenerativas, tais como esclerose lateral amiotrófica, doença de Parkinson assim como, lesões cerebrais características de doença de Alzheimer.

d) Boro (B)

O boro não se encontra livre na natureza. As fontes de boro mais importantes são os boratos, em especial o bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_5$). Na água natural encontra-se em valores baixos essencialmente na forma de ácido bórico não associado. É um elemento fundamental para o crescimento das plantas, podendo representar um constituinte acessório de minerais como os feldspatos, a biotite e as anfíbolas (Hem, 1985).

O boro, sendo um elemento leve constitui composto iónicos e não iónicos voláteis e, por isso, pode ser libertado em gases vulcânicos na forma de H_3BO_3 e BF_3 . Por consequência, as águas das áreas vulcânicas possuem elevadas concentrações de boro, possuindo valores aproximados na ordem de 10mg/L a 50mg/L (Nicholson, 1993).

Apesar de existir em reduzida quantidade na água, pode aumentar significativamente como resultado de descargas de águas residuais (Bartram & Ballance, 1996).

CAPITULO III- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

III.1- Localização Geográfica

Cabo Verde, oficialmente República de Cabo Verde, é um país insular localizado num arquipélago formado por dez ilhas vulcânicas na região central do Oceano Atlântico.

O Arquipélago de Cabo Verde fica localizado na margem oriental do Atlântico Norte, a cerca de 450 km da Costa Ocidental da África e a cerca de 1.400 km a SSW das Canárias, limitado pelos paralelos 17° 13' (Ponta Cais dos Fortes, Ilha de St° Antão) e 14° 48' de latitude Norte (Ponta de Nho Martinho, Ilha Brava) e pelos meridianos de 22° 42' de longitude Oeste de Greenwich (ilhéu Baluarte, Ilha da Boa Vista) e 25° 22' (Ponta Chã de Mangrado, Ilha de St° Antão) (Gomes, 2007).

Os ventos dominantes são os “alísios de nordeste”, que dividem o arquipélago em dois grupos (figura 1):

- Barlavento, formado pelas ilhas de Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal e Boavista e os ilhéus Boi, Pássaros, Branco, Raso, Rabo de Junco, Curral de Dadó, Fragata, Chano e Baluarte;
- Sotavento, formado pelas ilhas do Maio, Santiago, Fogo e Brava e os ilhéus de Santa Maria, Grande, Luís Carneiro e de Cima.



Figura 1-Localização do arquipélago de Cabo verde. O círculo vermelho indica a ilha de Santiago (imagens extraídas do software Google Earth)

A área contemplada no presente estudo corresponde ao Concelho de São Domingos, que situa na parte sudeste da ilha de Santiago, entre os paralelos 14° 57' e 15° 05' de latitude norte e 23° 26' e 23° 38' de longitude oeste de Greenwich. Está limitado pelos concelhos de

Santa Cruz, São Lourenço, Ribeira Grande e Praia. É limitado no litoral pelo mar e estende-se no sentido Este - Oeste, desde a povoação de Praia Baixo até à zona de Loura (figura 2).

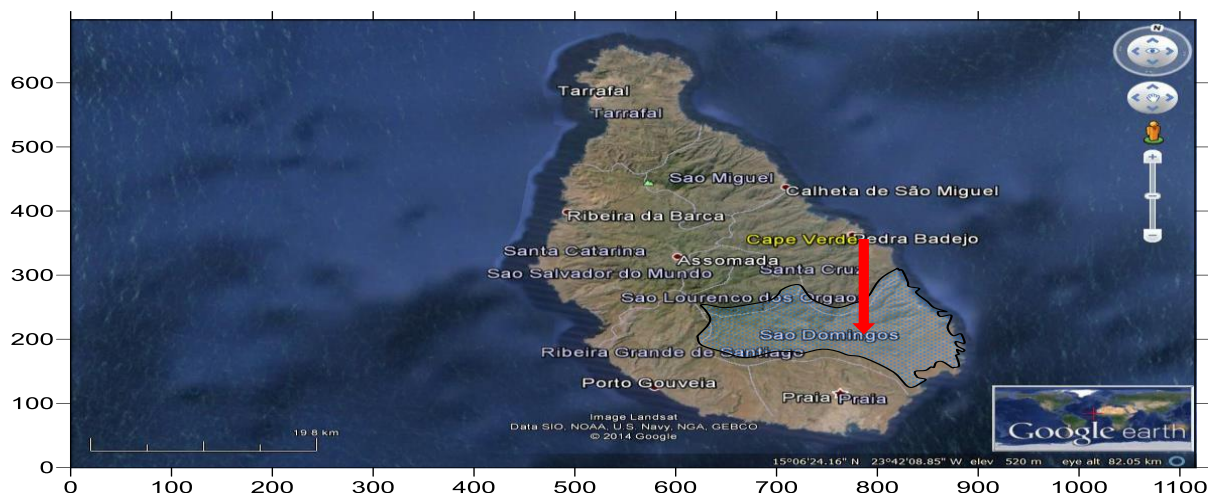


Figura 2- Imagem aérea, obtida através do Google™ Earth. A seta a vermelho indica área de estudo (concelho de São Domingos)

O concelho de São Domingos possui uma extensão territorial de 134,6 km² ocupando uma área que corresponde aproximadamente a 13,6% do território da ilha e a 3,3% do território nacional, que se alonga do litoral para o interior da ilha. São Domingos é constituído por 27 povoados que se encontram distribuídos pelas freguesias de Nossa Senhora da Luz e de São Nicolau Tolentino (figura 2) (Gomes & Pina, 2004).

III.2. Aspetos Climáticos

De acordo com Amaral (1964), o concelho de São Domingos, em geral tem um clima árido, registando-se as duas estações distintas existentes no arquipélago:

- A estação das chuvas ou “tempo das águas” que vai de agosto a outubro e que está sob a influência da frente de convergência intertropical (FIT).
- A estação seca ou “tempo das brisas”, que vai de dezembro a junho com predomínio dos ventos alísios, é mais longa.

Os meses de novembro e julho são considerados meses de transição. O clima é árido nas zonas do litoral tornando-se mais agradável à medida que se aproxima do interior. Nos meses de agosto a outubro, normalmente, registam-se precipitações durante algumas horas ou mesmo dias, por vezes com carácter torrencial arrastando solos aráveis e infraestruturas agrícolas e de conservação de solos. Quando o período de seca é prolongado, traduz-se na decadência da economia local e mesmo nacional, dado que cerca de 90% da população do concelho depende da agricultura e da pecuária. Regista-se a influência dos ventos alísios do

nordeste, monção de Atlântico sul e Harmatão sendo este muito prejudicial à saúde e à agricultura. Ao longo do ano registam-se temperaturas com valor médio de 22°C nos meses mais frios e 26°C nos meses mais quentes (Amaral, 1964).

O apêndice B mostra os valores da precipitação dos últimos 4 anos no concelho, refletindo um nível muito baixo de precipitação anual.

III.3. Aspetos Geomorfológicos

Tendo em conta os aspetos geomorfológicos, o interior do concelho é mais montanhoso com fortes pendentes, incluindo inúmeras linhas de água em vales profundos e estreitos que se vão abrindo formando zonas mais ou menos planas à medida que se aproximam do litoral (PAMSD, 2004).

Segundo Amaral (1964), a geomorfologia do concelho de São Domingos apresenta as características gerais da ilha de Santiago, possuindo elevações, vales, planuras ou achadas.

Na parte nordeste registam-se as seguintes elevações: Monte Fundo (895m); Monte Leão (803m); Monte Encantada (738m); Monte Rui Vaz (832m); Monte Lém Vieira (849m) e Monte Rema Rema (500m). Dessas elevações nascem as seguintes ribeiras: Ribeira Grande, Ribeira Loulé, Ribeira Chã de Açougue, Ribeira Valério, Ribeira Guarda e Ribeira São Domingos. Na parte norte e central destacam-se os montes: Chaminé (717m), Campanária (400m), Colégio (493m), Videla (556m), Queimado (478m) e Pedra Branca (723m). Desses montes, no tempo da chuva, escoam águas que são encaminhadas pelas ribeiras da Praia Formosa, de São Domingos, de São Filipe, da Baía, de Maia Cinza e de Covão Grande. No extremo oriental são destacadas as achadas litorâneas tais como: Achada Baía, Achada Baleia, Achada Formosa e Achada Ponta Bomba. Deve-se salientar ainda a existência de outras achadas nomeadamente a Achada Rui Vaz e Achada Loura (Figura 3).

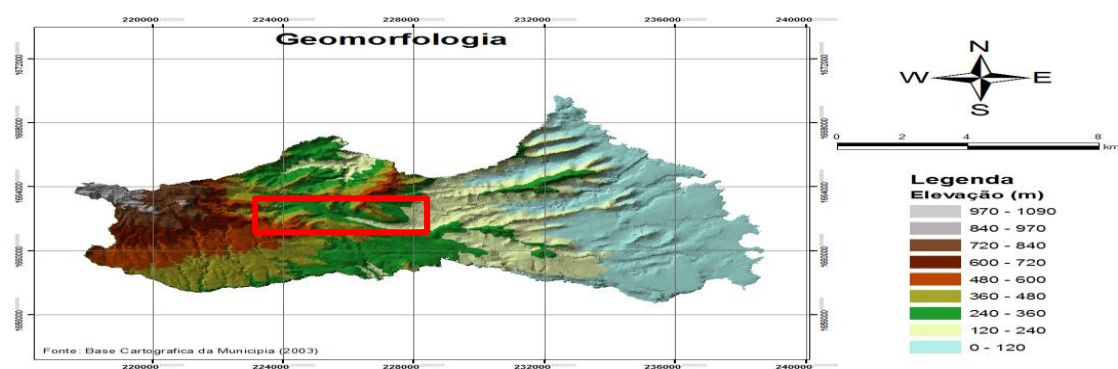


Figura 3- Enquadramento Geomorfológico do concelho de São Domingos. O retângulo vermelho indica a área de estudo

III.4- Aspetos geológicos e estratigráficos

No concelho de São Domingos encontramos rochas vulcânicas básicas, tais como basaltos e piroclastos associados. Em termos gerais, as características geológicas do concelho não diferem em grande medida das da ilha de Santiago. Tendo em consideração a sua origem, e tal com se referiu no ponto anterior, o relevo tem carácter acidentado, com fortes declives marcados pela erosão hídrica e eólica.

No concelho de São Domingos existem rochas vulcânicas de composição e génese variadas, com predomínio das rochas de composição basáltica, constituídas maioritariamente por minerais de natureza silicatada, conforme o excerto da carta geológica que se apresenta na figura 4. As atividades vulcânicas do Pliocénico deixaram como testemunho grandes volumes de lavas, principalmente basálticas, que na atualidade ocupam grande parte do concelho e desempenham um papel determinante na geomorfologia atual.

Para além das formas de relevo vulcânicas, encontram-se outras associadas a rochas sedimentares: são os casos das acumulações arenosas depositadas sob a ação do vento, que se registam em todas as ilhas, muito embora tenham atingido maiores extensões, no grupo oriental (ilha do Sal, Boa Vista e Maio).

No entanto esta formação abunda no concelho de São Domingos, agrupando-se em duas fácies (marinha e terrestre): antigas e modernas aluviões, formando ou não terraços, depósitos de vertente, de enxurrada, areias dunares e praias marinhas (Serralheiro, 1976). Encontram-se nas ribeiras de Chão de Coqueiro, Pau de Saco, Nora, Neta Gomes, Praia Formosa, Gaspar, João Garrido, São Domingos, Banana e Praia baixo.

A figura 4 ilustra as formações geológicas existentes no concelho de São Domingos.

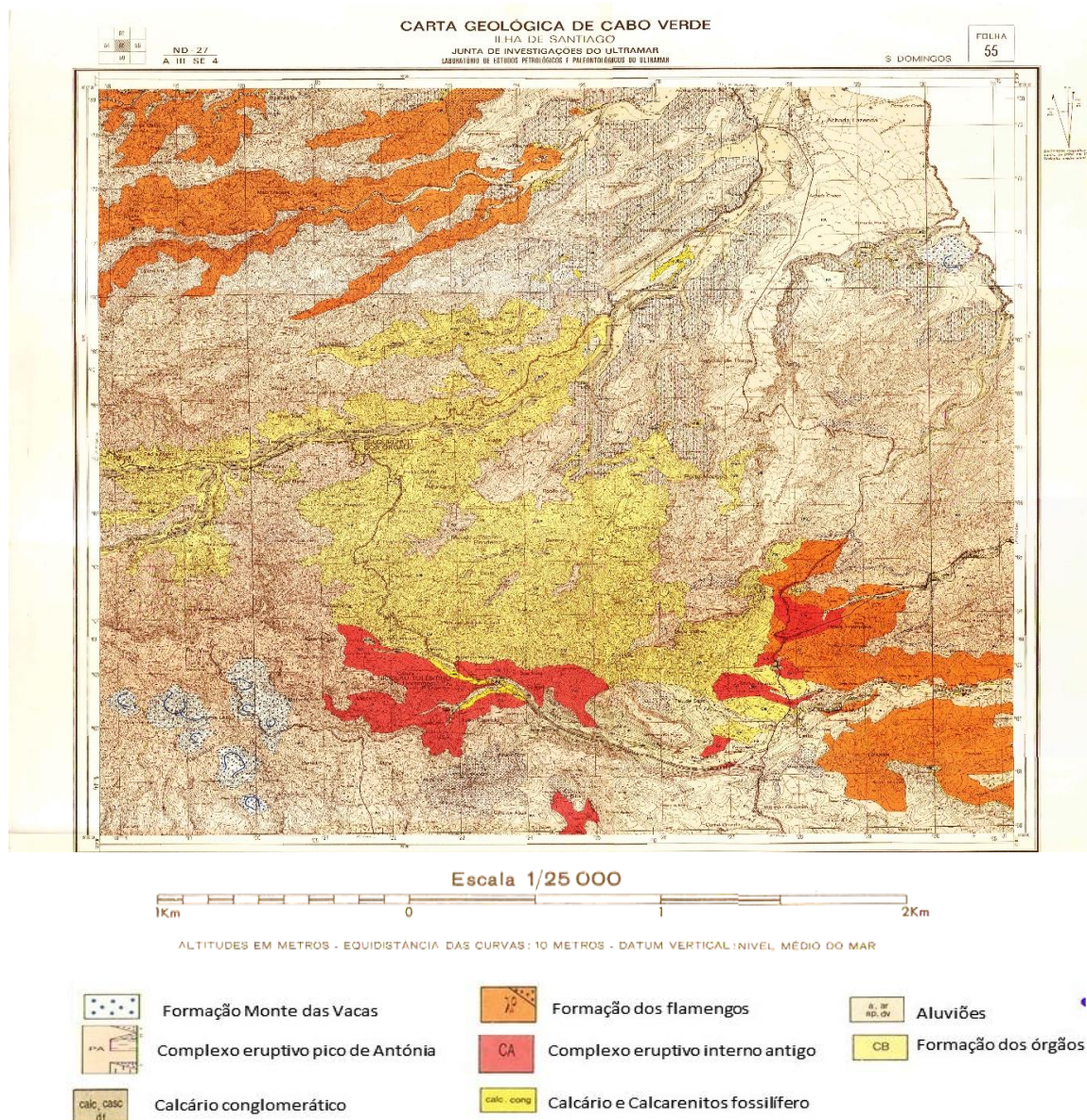


Figura 4- Enquadramento geológico-estrutural do concelho de São Domingos
 Mapa adaptado da folha 55- da Carta Geológica de Cabo Verde à escala 1/25 000 (Junta de Investigação do Ultramar, 1961)

O quadro estratigráfico elaborado por Serralheiro (1976), para o concelho de São Domingos apresenta as unidades caracterizadas das mais antigas (1) para as mais recentes (6) (Anexo B).

III.5- Hidrogeologia

Com base na sequência vulcanológica estabelecida por Serralheiro (1976), resumidamente apresentada no anexo B e apoiada pelo resultado dos trabalhos de hidrogeologia realizados na ilha de Santiago, há dezenas de anos desde finais do ano de 1971 até à presente data (Gomes & Pina, 2004), foi possível estabelecer a sequência hidrogeológica para a ilha de

Santiago no geral e São Domingos em particular, integrada pelas Unidades de Base, Intermédia e Recente (Anexo C).

- **Unidade Recente**, constituída pela Formação do Monte das Vacas, que é muito permeável. Por isso, não permite a retenção das águas que, assim, se infiltram, privilegiadamente, em direção ao aquífero principal. Também se integram nesta unidade as aluviões. Apesar de serem bons aquíferos o volume de água subterrânea é muito pequena.

- **Unidade Intermédia**, constituída pelo Complexo Eruptivo do Pico da Antónia que, por sua vez, é constituída essencialmente por mantos basálticos subaéreos e submarinos. É a unidade geológica mais espessa, mais extensa e que facilita a circulação da água no seu seio, apresentando uma permeabilidade bastante superior à da unidade de base assumindo, por isso, as características do aquífero principal. Nesta unidade pode-se incluir também a formação de Assomada (A).

Unidade de Base, o Complexo Eruptivo Interno Antigo, a Formação dos Flamengos e a Formação dos Órgãos constituem esta unidade, que se caracteriza por possuir um grau de alteração relativamente elevado, o que lhe confere uma permeabilidade relativamente baixa e, por conseguinte, produtividade relativamente fraca.

A área de estudo cobre todas as unidades representadas na ilha, com a maioria dos pontos de água correspondentes à unidade de base.

III.6- Caracterização socioeconómica do concelho de São Domingos

Segundo o censo de 2010, estima-se que o Concelho de São Domingos possui uma população de 13808 habitantes, sendo que 6705 são de sexo masculino e 7103 de sexo feminino (INE, 2010).

As principais atividades económicas do concelho são a agricultura, principalmente a de sequeiro e a pecuária, que se vem tornando cada vez menos viável, mercê da escassez e irregularidade das chuvas e da subsequente diminuição das zonas de pastagem.

III.6.1. Serviço de abastecimento de água

A produção e distribuição da água potável no concelho são asseguradas pelo Serviço Autónomo de Água e Saneamento (SAAS), através de um sistema compreendendo os seguintes elementos: furos destinados à produção de água de consumo humano e para rega; estações de abastecimento dos autotanques; rede de distribuição construída no ano (2004-

2005†). O transporte da água até as áreas não ligadas à rede de distribuição é realizado com recurso a dois autotanques de 11m³. Da água produzida por este sistema, cerca de 58% é destinada a rega enquanto 42% destina-se ao consumo humano (Lux-Development, 2008).

A partir do sistema anteriormente descrito, o SAAS fornece aos habitantes de São Domingos diferentes tipos de serviço dos quais se destacam:

a) Ligação domiciliária

A rede de distribuição foi inaugurada em 2005. De então para cá tem aumentado sucessivamente o número de conexões individuais, contando-se até à data de 30 de abril de 2008, 361 conexões. Os dados atuais fornecidos pelo SAAS, apontam para a existência de cerca de 1280 ligações domiciliárias (informação do dia 27 de Abril de 2015), espalhados ao longo da rede, que atravessa 19 das 31 localidades do concelho, correspondente 47% da população.

b) Chafariz

Existem 2 tipos de chafarizes:

- Os chafarizes ligados à rede: perfazem 22;
- Os chafarizes, mais distantes, abastecidos pelos 2 autotanques do SAAS: são 54.

De acordo com o SAAS (2015), os chafarizes são todos administrados por um operador, ou ‘vendedor’, que cuida da distribuição aos clientes. Alguns operadores assumem a gestão de 2 chafarizes. Foram identificados, 52 operadores para 76 chafarizes. No que diz respeito aos chafarizes abastecidos por autotanque, estes podem ser diretamente acoplados a um reservatório. Por vezes, um mesmo reservatório abastece dois chafarizes em simultâneo. Neste caso, o reservatório situa-se numa zona de maior altitude, e o autotanque usa uma bomba instalada sobre o camião para assegurar o seu abastecimento. A água que fica no tubo, inutilizável, é distribuída gratuitamente à população ao redor do mesmo.

c) A distribuição direta por autotanque

Existem duas modalidades de distribuição por autotanque:

- A venda por recipiente (barris ou bidões), em pontos de paragem do camião mais ou menos predefinidos;
- O abastecimento de cisternas individuais.

† Na hora da sua construção aliás, São Domingos era o único município do Cabo Verde que não estava equipado com uma rede de distribuição.

Realça-se que para além dos serviços prestados pelo SAAS, a população recorre a outros meios como forma de garantir água para a satisfação das suas necessidades como: nascentes, poços, camiões privados e água da chuva.

A figura 5 ilustra as diferentes fontes de água usadas pelas famílias para seu abastecimento diário e ocasional no concelho de São Domingos. Nas zonas sem rede, o abastecimento é proveniente dos chafarizes abastecidos por autotanque.

d) Poços e nascentes

De acordo com os dados apresentados no censo 2010 pelo INE os poços e nascentes representam cerca de 13% da água abastecida à população (figura 5). Os poços constituem uma boa alternativa para os munícipes, que usam a água derivada deste ponto não só para rega, mas também para o uso doméstico.

No que diz respeito às nascentes, no concelho existe um número reduzido, sendo de destacar as três nascentes na localidade de água de gato que fornecem água à população durante o ano todo. Pequenas instalações foram construídas para canalizar e estocar a água (levadas, tubagens e reservatórios) e facilitar o enchimento de baldes e bidões.

Nos últimos anos devido a falta de chuva e da deficiente distribuição de água pela rede de distribuição domiciliária tem-se destacado ainda mais, como um dos melhores pontos de abastecimento de água à população.

e) Camiões

Vários tipos de abastecimento são efetuados pelos camiões privados: cisternas de casas particulares, obras de construção, empresas e comércio (restaurantes, discotecas), criação de gado, e venda por barril. Porém, este último tipo de venda é mais raro, no sentido que é menos favorável para os transportadores, que preferem vender o conteúdo do seu tanque apenas de uma ou duas vezes.

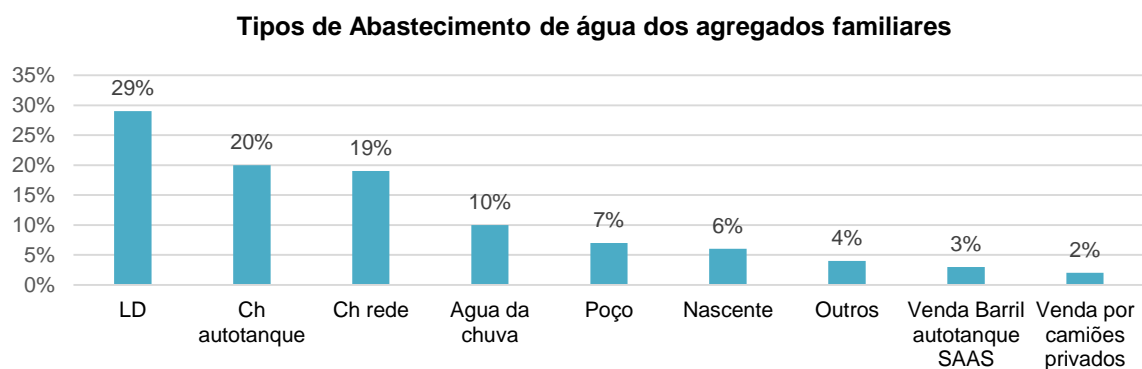


Figura 5-Abastecimento da água às famílias

III.6.2- Controlo analítico da qualidade de água

O controlo da qualidade de água é feito pelo INGRH que em concertação com o SAAS-SD procede anualmente à determinação de alguns parâmetros como o pH, a temperatura e a condutividade da água tanto para rega como para consumo e uso doméstico. Também é feita a análise química, física e bacteriológica da água e a análise do cloro residual, com vista à melhoria da qualidade da água para a população do concelho, sem periodicidade conhecida.

Apesar de serem feitas as análises inerentes a avaliação da qualidade de água, os resultados não são divulgados publicamente, tornando-se assim confidenciais para entidade que procedeu a análise.

Foi feito algum esforço no sentido de conseguir os históricos das análises efetuadas, mas tal não foi possível uma vez que o INGRH não permitiu que esses dados fossem divulgados.

CAPÍTULO IV – METODOLOGIA

Numa primeira fase a pesquisa foi alicerçada por uma investigação empírica, indutiva, voltada para a obtenção sistemática dos dados sobre a área de estudo, nomeadamente o enquadramento geográfico, geológico, climático e hidrológico.

Em seguida, elaborou-se um roteiro de atividades de campo, que contemplou a elaboração de um inventário de pontos de água, amostragem, com colheita de amostras e medição de parâmetros *in situ* e preenchimento de uma ficha de campo, com os registos das condições, observações e medições efetuadas em cada ponto. A tabela do anexo D mostra a ficha de registo utilizada para caracterizar os pontos de água inventariados.

A terceira etapa do trabalho assentou na definição e implementação de um plano analítico dedicado às amostras colhidas no campo. No apêndice E apresenta-se os limites de deteção dos elementos estudados.

IV.1. Amostragem

Tendo em consideração as características climáticas da ilha, o período de amostragem decorreu nos meses de outubro e novembro de 2014, ou seja logo após a estação das chuvas (julho a setembro).

A dispersão de pontos de amostragem cobre diferentes formações geológicas e diferentes usos da água. Com efeito, estão representadas amostras de água de nascente, poços, furos, reservatório e ligação domiciliária.

Em cada local de amostragem procedeu-se à colheita de três sub-amostras: i) uma, em recipiente de 500 mL, destinada a análise de parâmetros físico-químicos, tais como alcalinidade e sólidos suspensos; ii) outra, com um volume de 100 mL, destinada a análise de aniões por cromatografia iónica, sujeita a filtração em campo com membrana *Milipor* de porosidade 0.45 µm; iii) outra, em frasco de 100 mL, igualmente filtrada em campo e acidificada com HNO₃ *suprapur*, destinada a análise de metais. Todos os recipientes de armazenamento consistiram de frascos de polietileno de alta densidade (frascos Kartel), previamente sujeitos a descontaminação de acordo com a norma ASTM 5245 (ASTM, 1992). Durante a colheita cumpriram-se determinados requisitos destinados a evitar a contaminação das amostras, nomeadamente uso de luvas, lavagem dos frascos com água ultrapura e enxaguamento com a própria amostra (*Standard Methods* 1060A). Além da recolha das amostras em cada ponto, foram efetuadas medições *in situ*, de parâmetros expeditos: pH, condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos totais (TDS) e temperatura com um medidor multiparamétrico portátil, marca ORION, modelo Star 5.

Após a colheita, as amostras foram armazenadas num recipiente refrigerado a uma temperatura inferior a 4°C, protegido da luz solar e finalmente transportadas para o laboratório a fim de serem analisadas.

IV.2. Métodos de análise química

Os aniões cloreto, brometo, fluoreto, nitrato, nitrito, fosfato e sulfato, foram analisados por cromatografia iónica com supressão química, mediante um cromatógrafo marca Methrom, modelo 761 Compact. A alcalinidade foi analisada por volumetria, de acordo com o método 2320B (Standard Methods). Os sólidos suspensos totais determinaram-se por gravimetria, com secagem a 105°C. Os metais foram analisados por espectrometria de emissão atómica por plasma acoplado indutivamente - ótico (ICP-OES), no laboratório Actlabs (Canadá).

Todos os procedimentos foram realizados com reagentes pró-análise e água ultrapura, produzida em sistema Milipore. Apresenta-se no apêndice C a tabela dos métodos analíticos e respetiva referencia (AWWA, 1992).

IV.3. Tratamento de dados

A organização dos dados obtidos aquando da pesquisa da documentação existente sobre a área em estudo foi feita com base no uso das ferramentas como QGIS e Arc-Gis para mapear os pontos de água e Google[™] earth.

A caracterização da fácies hidroquímica da água foi feita mediante a utilização do diagrama Piper fazendo a projeção dos valores, com intuito de caracterizar a qualidade da água subterrânea, para diferentes usos. Para tal, foi utilizado o programa Aquachem e Qualigraf.

Adicionalmente procedeu-se a um sumário estatístico e análise de correlações, mediante o programa Microsoft Excel. A análise estatística Cluster foi efetuado com o programa STATGRAPHICS Centurion XVI, usando o método ward. Esta análise representa um conjunto de técnicas que buscam o agrupamento das variáveis em grupos similares, em função da proximidade entre elas. O classificador hierárquico gera uma família de partições do universo de dados indexada por uma escala T (medida de distância entre subconjuntos). O processo de agregação em subconjuntos é controlado pelo cálculo da distância de cada ponto a agregar a todos os pontos dentro do subconjunto. Tem uma representação em forma de árvore, que se designa por dendrograma. A partição final, isto é o número de subconjuntos que se admitem, depende da escala. Quando T tende para infinito obtêm-se um único conjunto. Por outro lado, se T for suficientemente pequeno cada amostra constitui um subconjunto. Este agrupamento linear pode aplicar-se tanto na busca de afinidades entre pontos de observação, como entre parâmetros analíticos de cada variável.

CAPÍTULO V- RESULTADOS E DISCUSSÃO

V.1- Inventário de pontos de água

O inventário de pontos de água assume-se como uma ferramenta essencial para a gestão dos recursos hídricos de uma região. Fornece a primeira indicação sobre as características hidrogeológicas de uma dada área e gera informação útil para os utentes dos pontos de água e para entidades que têm a seu cargo a gestão do recurso.

No presente caso, o inventário de pontos de água permitiu o conhecimento expedito das características da área de estudo, sem necessidade de recorrer a reconhecimentos de tipo direto (tais como execução de poços, furos, sondagens), cujo custo seria elevado e exigiria um tempo de realização longo.

Neste inventário compilaram-se, entre outros, os seguintes dados relativos aos pontos identificados: (i) Localização geográfica em mapas apropriados; (ii) Proprietário e histórico da captação; (iii) Uso da água; (iv) Horas de bombagem, se aplicável; (v) Origem/tipo de captação e material de construção, se aplicável; (vi) Informação de natureza hidrológica, geomorfológica e geológica; (vii) Qualidade da água, com base em parâmetros medidos em campo para um conjunto de pontos selecionados.

Esta e outra informação aparecem compiladas em ficha de inventário como a que se apresenta no anexo D.

No âmbito do presente estudo, no concelho de São Domingos, inventariaram-se cerca de 50 pontos de água, entre poços, furos, nascentes. Destes, selecionaram-se 22 pontos de água, dos quais 11 são poços, 6 são furos e 3 nascentes. Para além destes pontos, que foram posteriormente sujeitos a caracterização hidroquímica detalhada, contemplou-se ainda uma amostra de água domiciliária e 1 amostra de tanque. No seu conjunto, estes pontos representam a fonte de abastecimento das populações do município, tanto para consumo humano como para rega.

O apêndice D sintetiza a informação de base sobre a localização e o uso da água.

Na figura 6 apresenta-se a distribuição espacial dos pontos de água projetados sobre um excerto da carta geológica. Estes pontos cobrem uma área de trabalho da ordem de 280 hectares, relativamente afastada do litoral, uma vez que, a maior parte da água explorada para o abastecimento das populações é captada nesta parte do concelho.

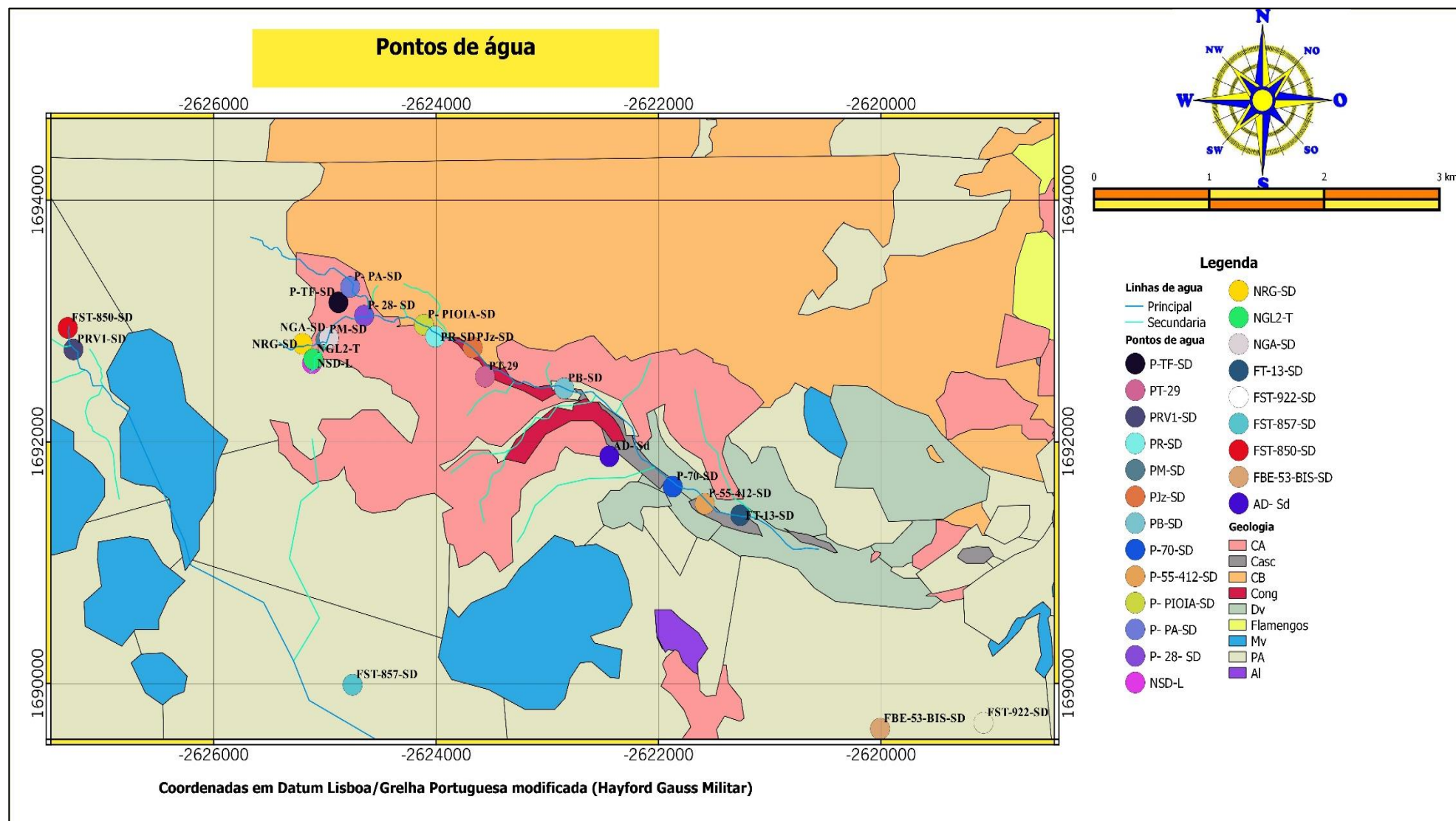


Figura 6- Distribuição espacial dos pontos de água seleccionados no Concelho de São Domingos
 Mapa adaptado da folha nº 55 da Carta Geológica de Cabo Verde à escala 1/2500

V.2. Caracterização hidrogeoquímica

Neste ponto apresentam-se as características das amostras de água, considerando três categorias de parâmetros:

- Parâmetros globais, incluindo as medições de campo, alcalinidade e sílica;
- Componente maioritária, incluindo aniões e catiões;
- Componente vestigial, que se refere a elementos químicos que ocorrem geralmente na ordem das µg/L.

V.2.1- Parâmetros globais

A tabela 2 apresenta os resultados das medições de pH, condutividade elétrica (CE), temperatura e sólidos dissolvidos totais.

Tabela 2- Resultado parâmetros físicos medidos

Amostras	Designação	PH	C.E. (µs)	TDS (mg/l)	Temp.
NSD-L	Nascente	7,35	525	251	24
NSD-L2- T	Tanque	7,95	534	255	24
NRG-SD	Nascente	7,53	456	218	24.2
PM-SD	Poço	7,28	1368	667	23.8
NG-SD	Nascente	7,27	929	448	24.7
P-TF- SD	Poço	7,37	740	354	24.7
P-PA-SD	Poço	7,22	1422	693	24.2
P-28-SD	Poço	7,21	1354	658	25.3
P- PIOIA-SD	Poço	7,43	1396	679	23.1
PR-SD	Poço	7,48	1528	745	23.8
PJz-SD	Poço	7,23	1457	711	24.4
PT-29	Furo	6,92	1974	973	25.9
PB-SD	Poço	7,27	2350	1170	26.9
P-70- SD	Poço	7,18	1730	848	26.1
P-55-412-SD	Poço	7,18	2180	1080	26.1
FT-13 -SD	Furo	7,50	2080	1030	27.5
FBE-53 BIS-SD	Furo	7,95	425	356	28.1
FST-922 -SD	Furo	7,78	889	428	28
FST-850 -SD	Furo	7,95	425	203	24.5
PRV1-SD	Poço	7,14	972	469	23.7
FST-857-SD	Furo	8,05	369	176	25.9
AD-SD	Domicilio	7,88	2040	1190	27.1

Na figura 7 representam-se os valores de pH, evidenciando-se o valor médio em torno de pH 7.5. Nesta figura destaca-se a amostra NSD-L2-T que alcançou o valor máximo de 8.25. Por sua vez, o pH minimo (6.76) corresponde à amostra P-70-SD.

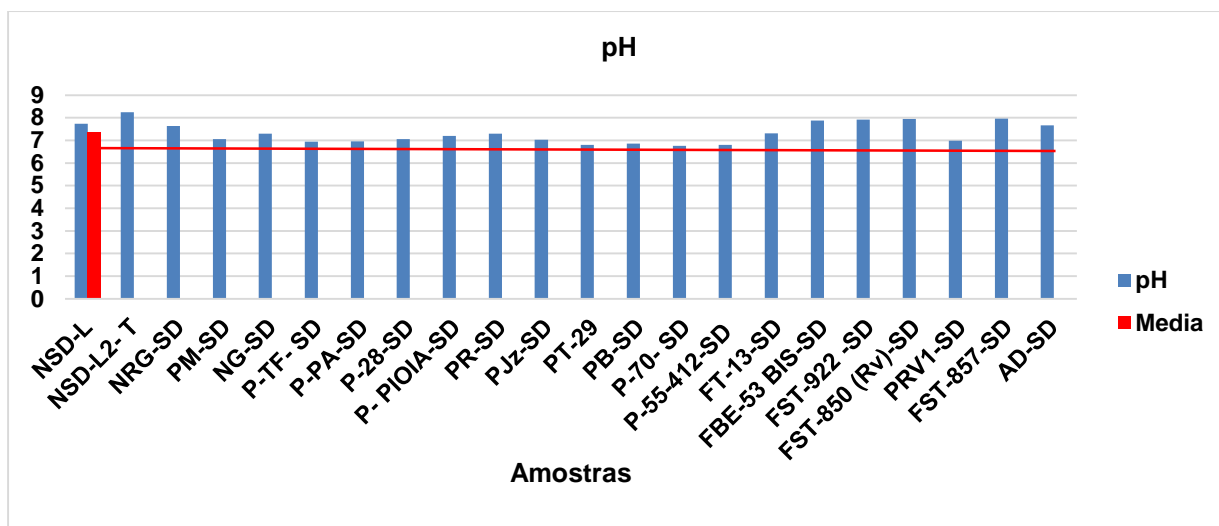


Figura 7- Distribuição do pH das amostras de água em estudo

A condutividade elétrica (CE), medida da facilidade da água em conduzir a corrente elétrica, é diretamente proporcional ao teor de sólidos dissolvidos sob a forma de iões.

A figura 8 apresenta os resultados da condutividade elétrica das amostras em estudo, apresentado a média de 1361 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Salienta-se ainda que o valor máximo obtido foi de 2350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ correspondente à amostra PB-SD. Por outro lado tem-se a amostra FST-857-SD com o valor mínimo de 369 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

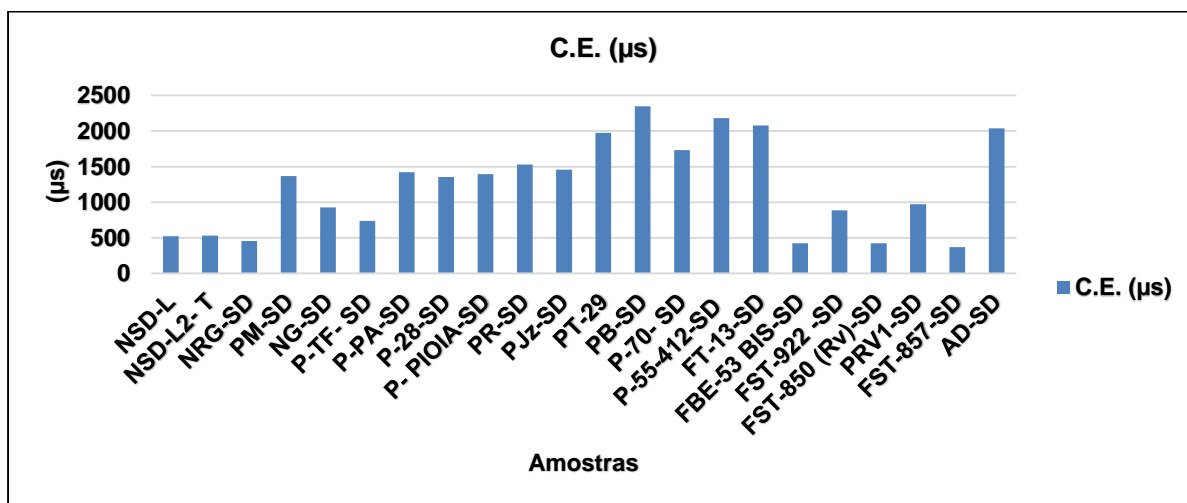


Figura 8- Valores da condutividade das amostras em estudo

A temperatura da água representa uma das mais importantes características físicas.

De acordo com Zheng-Gang (2008), é um fator crucial no estudo da hidrodinâmica e da qualidade da água devido a diversas razões, em especial porque dela depende a solubilidade do oxigénio dissolvido.

A temperatura da água varia com as estações do ano, elevação, localização geográfica e condições climáticas e é influenciada pelo fluxo da água, vegetação (a temperatura aumenta quando é retirada vegetação), entrada de água subterrânea e efluentes de atividades industriais (Ali, 2010). Apresenta-se na figura 9 os resultados da temperatura das águas em estudo, às quais corresponde um valor medio de 25°C. Nesta mesma figura projeta-se o valor da temperatura média anual do ar.

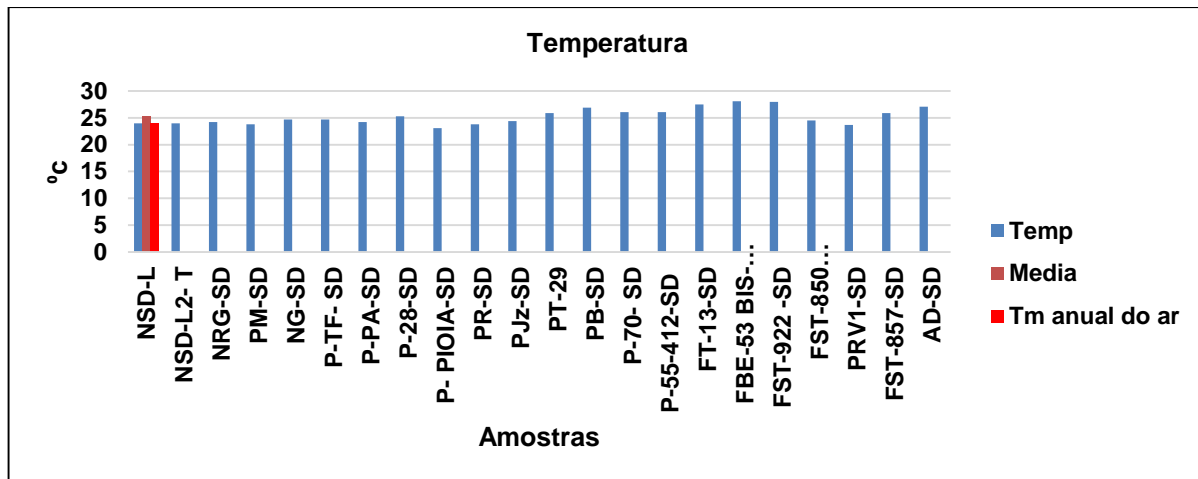


Figura 9- Distribuição dos valores de temperatura dos pontos de água em estudo

De acordo com os dados apresentados na figura 9 o valor máximo de temperatura é (28,1 °C), pertencente a amostra FBE-53 BIS-SD e o valor mínimo alcançado (23,1 °C), corresponde a amostra P- PIOIA-SD. Convém destacar que a média da temperatura das águas subterrâneas em estudo é de 25,27°C.

Fazendo uma comparação entre a temperatura da água (t) e a temperatura média anual do ar (t_m), Schöeller (1962), propõe a seguinte classificação das águas subterrâneas:

- Águas hipertermias ($t > t_m + 4$ °C);
- Águas ortotermias ($t = t_m$ a $t_m + 4$ °C);
- Águas hipotermias ($t < t_m$)

De acordo com esta classificação, as amostras PM-SD; P-PIOIA-SD; PR-SD e PRV1-SD, são consideradas águas hipotermias, uma vez que, o valor da temperatura é inferior à temperatura média anual do ar (24°C).

Por sua vez, as amostras FBE-53-BIS-SD e FST-922-SD, enquadram-se no grupo de águas hipertermias, pelo facto de a temperatura das mesmas ultrapassarem a temperatura média anual do ar em mais de 4°C. As restantes 16 amostras, são classificadas como água ortotermias.

O total de sólidos dissolvidos (TDS) refere-se à concentração de iões dissolvidos presentes nas águas. Corresponde ao somatório de todas as espécies dissolvidas, iónicas ou neutras. Este parâmetro traduz a mineralização total das amostras e pode ser determinado por cálculo a partir dos resultados analíticos.

A figura 10 ilustra a distribuição dos valores de TDS nas amostras de água analisadas. Destaca-se que o valor máximo alcançado é 1190mg/l referente à amostra AD-SD e o valor mínimo de 176 mg/l relativo a amostra FST-857-SD. O valor médio é de 618.27 mg/l, sendo ultrapassado pelos valores de várias amostras, destacando-se as amostras AD-SD e PT-29 que possuem valores excecionalmente elevados.

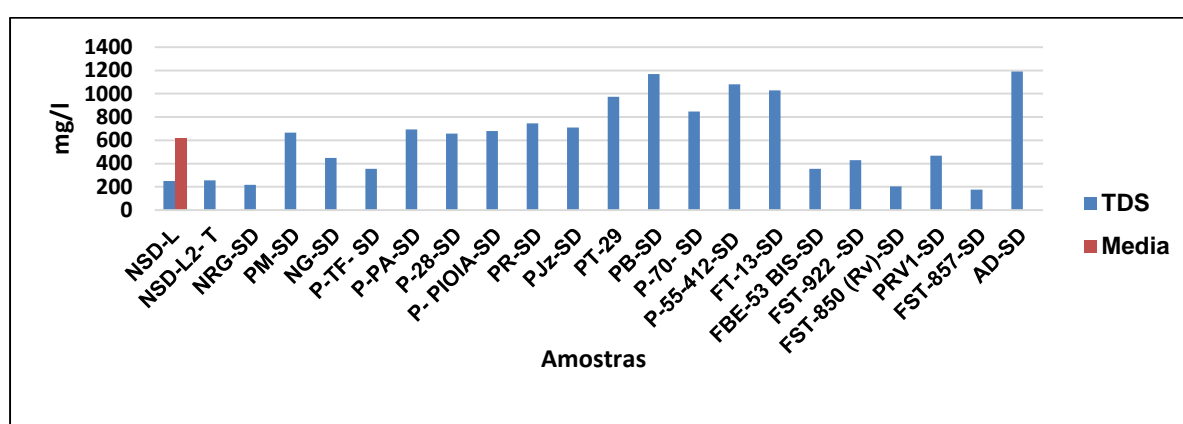


Figura 10- Distribuição dos totais de sólidos dissolvidos nas amostras de água em estudo

Na figura 11 mostra-se a correlação entre a condutividade elétrica e os TDS. Tal como seria de esperar esta correlação é elevada, refletindo a linearidade entre os dois parâmetros. De uma forma geral pode-se considerar as amostras de água em estudo de mineralizadas.

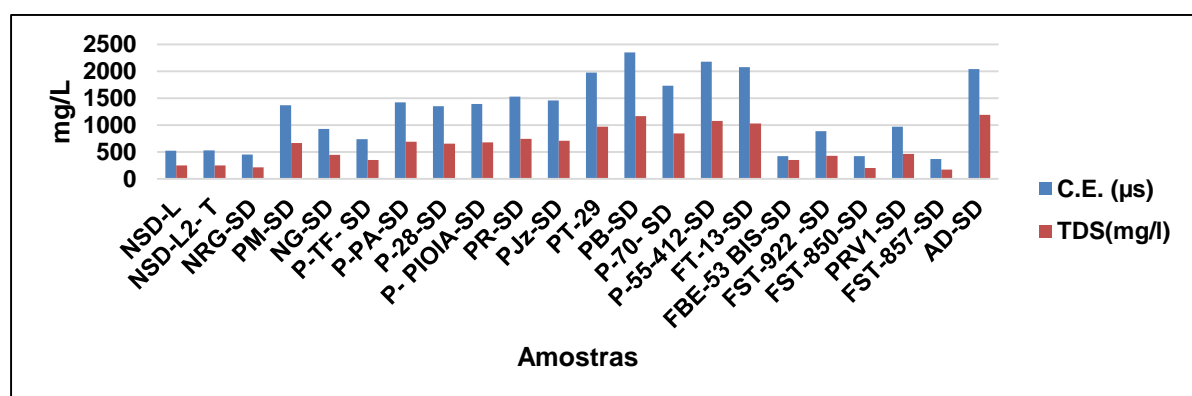


Figura 11- correlação entre a C.E. e TDS

A alcalinidade de uma amostra de água é devida principalmente à presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. A figura 12 mostra a distribuição dos valores da alcalinidade nas amostras de água em estudo, possuindo um valor médio de 261.52mg/L. Salienta-se ainda que o valor máximo obtido foi de 466.5 mg/L correspondente à amostra AD-SD, por outro lado tem-se a amostra PRV1-SD com o valor mínimo de 129.5mg/l.

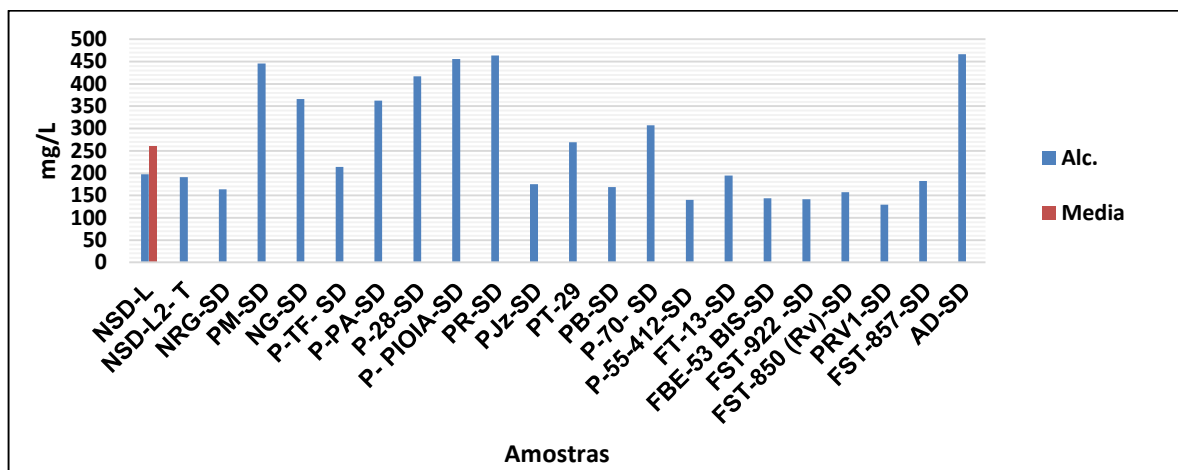


Figura 12- Valores da alcalinidade nas amostras de água em estudo

Relativamente à sílica, outro dos constituintes incluídos na categoria dos parâmetros globais, a maioria presente nas águas permanece em solução, principalmente no estado monomérico de ácido silícico, H_4SiO_4 segundo (Languir, 1997). O mesmo autor refere que em condições de pH neutras e ácidas, a sílica surge quase exclusivamente sob a espécie neutra H_4SiO_4 , já que o equilíbrio relativo à primeira dissociação ocorre para um pH de 9.82. Assim, considera-se que toda a sílica está sob uma espécie neutra, uma vez que, a média do pH da água em estudo é de 7.33.

A figura 13 resume os valores da sílica das amostras de água em estudo. É possível observar que o valor mais elevado pertence à amostra NSD-L (12.840 mg/l) e o valor mínimo corresponde à amostra FST-850 (RV) -SD (7.517mg/l). O valor médio de todas as amostras é de 9.936mg/l.

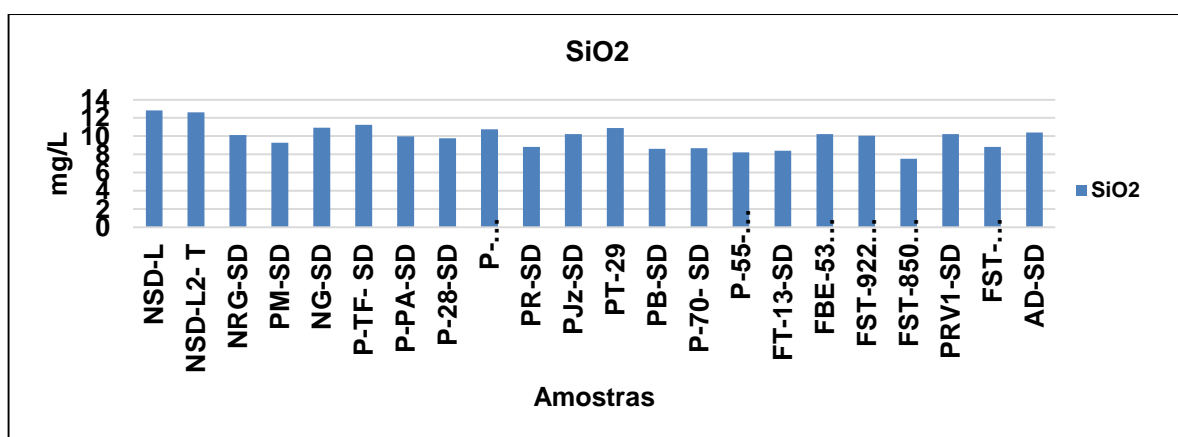


Figura 13- distribuição do Sílica nas amostras de água em estudo

V.2.2-Componente maioritária

Na componente maioritária da água em estudo incluem-se os seguintes parâmetros: cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloreto, bicarbonato, sulfato, nitrato e sílica. Inclui-se ainda neste estudo o nitrito e o ferro.

A figura 14 apresenta os dados relativos aos cátions que constituem a componente maioritária destas águas, o sódio apresenta-se como o catião que atinge o valor mais elevado, seguindo-se o cálcio e o magnésio e por último o potássio com concentrações muito inferiores às dos restantes metais. No entanto as amostras AD- SD e PB-SD destacam-se por possuírem maiores concentrações dos diferentes constituintes catiónicos. A amostra AD-SD destaca-se pelo facto de sódio atingir valor muito elevado (321 mg/l) chegando mesmo a ser mais de duas vezes superior a segunda amostra com concentração mais elevada deste elemento (134 mg/l).

Pela elevada concentração deste elemento destaca-se também a amostra FT-13-SD.

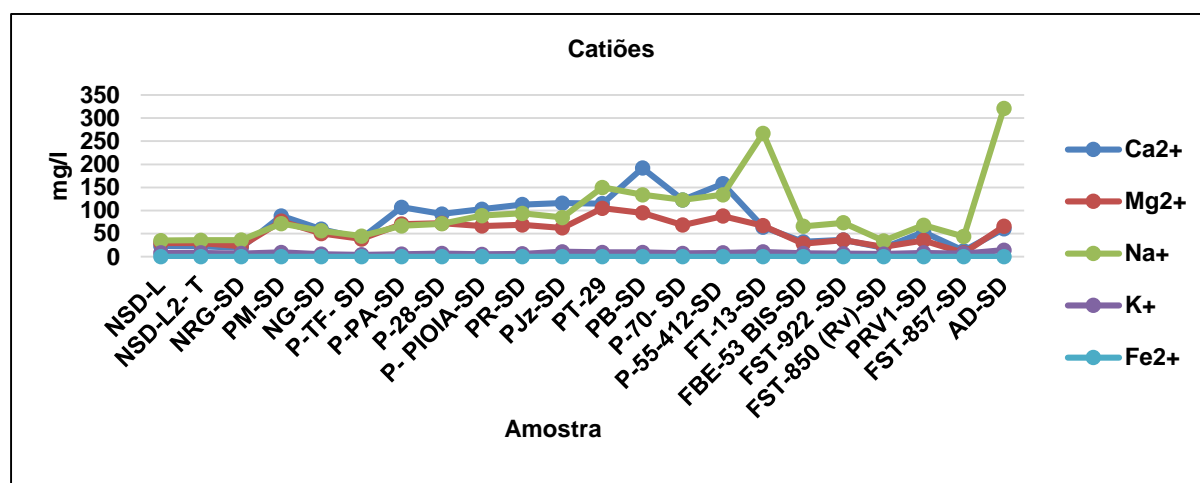


Figura 14- Componente catiónica das amostras em estudo

A tabela 3 apresenta o sumário estatístico correspondente à componente catiónica maioritária. Tal como se verificou pela análise gráfica anterior, os valores mais elevados para os estatísticos média e máximo observam-se para o sódio, ao qual se segue o cálcio. Deve notar-se que o desvio padrão e coeficiente de variação são também mais elevados para estes dois elementos. Por sua vez, o ferro é o metal que apresenta média mais baixa.

Tabela 3- Parâmetros estatísticos das concentrações dos cátions presentes nas amostras de água em estudo (valores em mg/L)

Cátions	Parâmetros Estatísticos (n=22)					
	Mínimo	Média	Máximo	Médiana	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
Ca ²⁺	12.8	75.095455	192	62.35	49.23710832	0.6556603
Mg ²⁺	8.5	54.981818	105	64.2	26.18786772	0.4763005
Na ⁺	34.3	95.513636	321	71.6	73.16746151	0.766042
K ⁺	4.3	7.9409091	14.3	7.35	2.208136273	0.278071
Fe ²⁺	0.03	0.0604545	0.14	0.05	0.030154724	0.4987999

No que diz respeito aos aniões, a sua concentração encontra-se representada na figura 20. É notório que o bicarbonato é o elemento com concentração mais elevada na água em estudo, surgindo como anião dominante em 18 amostras. O segundo elemento mais abundante nas amostras em estudo é o cloreto assumindo o domínio em 4 amostras, sem nunca alcançar o valor máximo atingido pelo bicarbonato nas amostras mais mineralizadas. O nitrato, nitrito e sulfato surgem em concentrações baixas, não sendo aniões dominante em nenhuma das amostras estudadas. Note-se que devido a expressão gráfica da escala o sulfato e Nitrito são quase impercetíveis em algumas amostras (figura 15). Portanto, à semelhança do que se verificou para os cátions as amostras AD-SD e PB-SD são aquelas que possuem em média uma maior concentração dos constituintes aniônicos. Relativamente à amostra AD-SD, notou-se que esta alcança um valor exceccionalmente elevado dos aniões (220,12 mg/L), com diferença significativa em relação à média das concentrações que possui a amostra PB-SD (195,82mg/L).

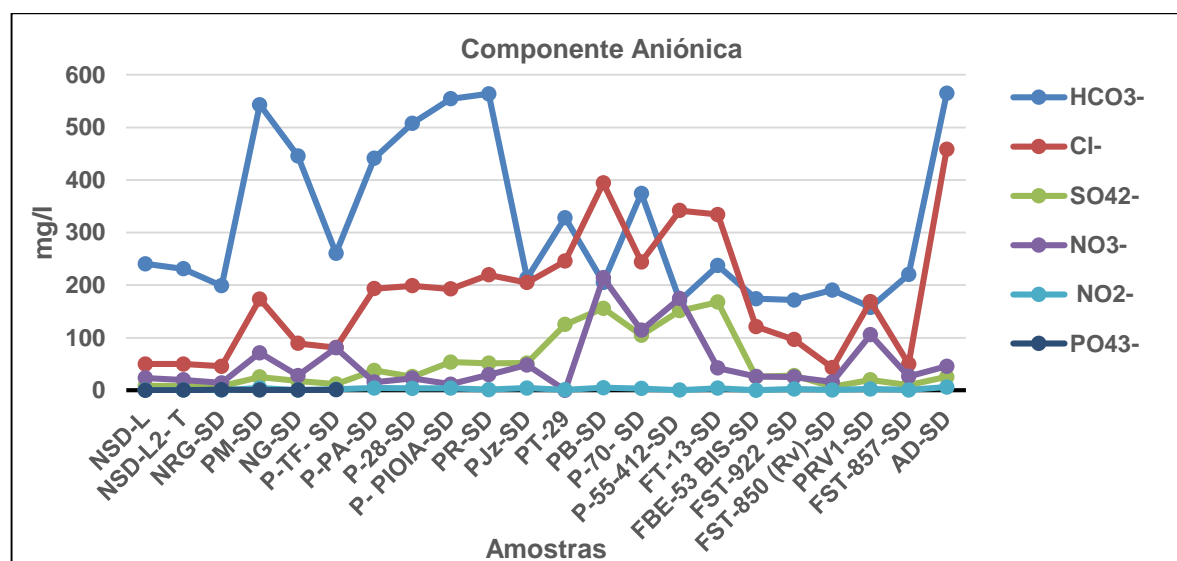


Figura 15-Componente aniônica das 22 amostras em estudo

O sumário estatístico da tabela 4 mostra que o bicarbonato aparece em concentrações mais elevadas, surgindo nas amostras de água com um teor médio de 317.94 mg/L, muito superior aos outros aniões.

No que diz respeito ao cloreto, este surge como o segundo elemento com os valores médio e médianos mais elevados. O sulfato e nitrato destacam-se pelos elevados coeficiente de variação. O nitrito e o fosfato são os aniões que apresentam valores mais baixo na maioria dos parâmetros. No entanto o fosfato destaca-se por apresentar valor mais alto do coeficiente de variação.

Tabela 4- Parâmetros estatísticos das concentrações dos catiões presentes nas amostras de água em estudo (valores em mg/L)

	Parâmetros Estatísticos						
Aniões	Mínimo	Média	Máximo	Médiana	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	n
HCO ₃ ⁻	157.7717	317.94296	564.83511	238.7794	150.4915968	0.4733289	22
Cl ⁻	43.02	181.66455	458.4	183.1	119.676467	0.6587772	22
SO ₄ ²⁻	6.87	50.969091	167.88	25.925	53.07816419	1.0413795	22
NO ₃ ⁻	0.06	52.51955	213.94	27.295	55.01406846	1.047497	22
NO ₂ ⁻	0.1	2.305	6.2	2.145	1.898545182	0.8236639	22
PO ₄ ³⁻	0.06	0.474167	1.22	0.27	0.48349971	1.019683	12

n- número de amostras

V.2.3-Componente vestigiária

Os elementos vestigiários, embora ocorram nas águas em concentrações muito baixas, são muito importantes principalmente pela elevada toxicidade que podem representar para o organismo.

A pesquisa efetuada a alguns destes elementos (com por exemplo o alumínio) não permitiu a sua deteção e/ou a sua quantificação na maioria das amostras, pelo que, serão considerados apenas os elementos que registaram teores mensuráveis nas amostras analisadas.

A tabela 5 apresenta os parâmetros estatísticos dos elementos vestigiais analisados.

Tabela 5- Parâmetros estatísticos das concentrações dos elementos vestigiais presentes nas amostras de água em estudo (valores em µg/L)

Parâmetros	Max.	Min.	Média	Médiana	D.P.	C.V.	n
Bário (Ba)	170	20	62.14286	55	43.91304	0.706647	15
Manganês (Mn)	250	20	120	90	55.682	464.013	3
Cobre (Cu)	64	2	9.769231	3	14.51086	1.485363	13
Molibdenio (Mo)	22	17	19.5	19.5	5.789414	0.296893	2
Níquel (Ni)	6	5	5.5	5.5	1.625687	0.295579	2
Fosforo (P)	540	030	140.952	120	112.068	795.079	21
Estrôncio (Sr)	2300	200	929.0909	925	666.3183	0.717172	22
Telúrio (Te)	20	10	13.33333	10	5.010811	0.375811	3
Vanádio (V)	20	10	15.38462	20	8.678979	0.564134	13
Zinco (Zn)	333	16	67.72727	32.5	78.01171	1.151851	22

n- número de amostras

Como se pode constatar na tabela 5, de um modo geral, estes elementos vestigiais apresentam uma distribuição homogênea, com os seus valores médios muito próximos dos valores médianos. Porém, há exceções onde se observa uma discrepância bastante significativa entre os valores médios e médiano. Exemplos destes casos são o Zinco, Fósforo, Cobre e Bário, onde os valores médios obtidos são muito superiores aos médianos.

O Estrôncio é o elemento vestigial mais abundante nas águas em estudo atingindo o valor máximo de 2300 µg/L com uma média de 929,09 µg/L.

Na figura 16 apresentam-se os teores médios dos elementos vestigiais, ordenados por ordem decrescente de concentração. No entanto, para a inserção dos dados, adotou-se uma escala logarítmica para dar expressão gráfica aos elementos que surgem em menores concentrações. Como se observa, os vários elementos considerados formam grupos com base na ordem de grandeza das concentrações médias. Portanto, com concentrações superiores 100 µg/L surge os elementos com estrôncio, fosforo e manganês formando assim o segundo maior grupo constituído por cinco elementos.

Com teores médios entre 10 µg/L 100 µg/L encontram-se o Bário, Mobdenio, Telúrio, Vanádio e Zinco, formando assim o maior grupo.

O último grupo é constituído por elementos cujas concentrações são inferiores a 10 µg/L, ao qual se destacam os seguintes elementos: Cobre e Níquel destacando-se como elementos com concentrações mais baixas.

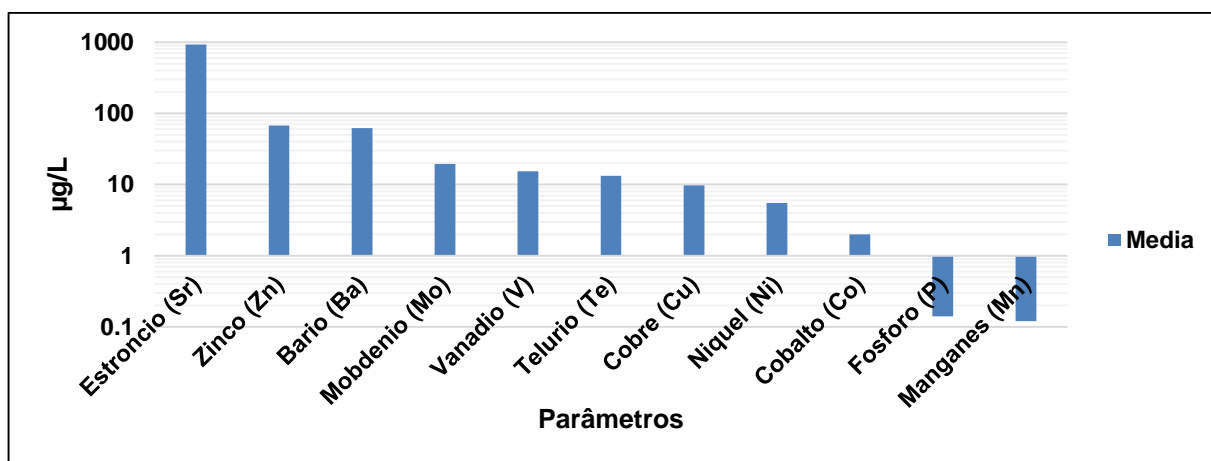


Figura 16- Concentrações média de alguns elementos vestigiais nas águas em estudo

V.3. Síntese de comportamento hidroquímico extraído da análise estatística

V.3.1. Discussão dos sumários estatísticos

O valor da temperatura põe em evidência o carácter superficial da maioria das amostras.

Embora haja um ponto de água correspondente a um furo, logo com maior profundidade (em

torno dos 140 m), a estratificação térmica do próprio furo fica evidenciada pelos elevados valores de temperatura, correspondentes a uma amostragem em superfície.

O pH tem valores ligeiramente básicos, com mínimo de 6.7 e máximo de 8.27. Esta gama de valores pode considerar-se muito ampla para o pequeno setor em análise. Considera-se que diferenças ao nível da litologia encaixante e dos terrenos drenados podem justificar esta variação. Os vários pontos de água estão localizados em meios com distintas litologias, sugerindo nalguns casos mistura ou sobreposição de materiais vulcânicos com materiais carbonatados, justificando-se assim a variação de pH (1.49), que dada a natureza logarítmica da escala é significativa. A condutividade elétrica tem um valor médio de 1234 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pelo que podem considerar-se águas pouco salobres para valores acima dos 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Neste caso está-se perante valores 10 vezes superiores, indicando claramente a predominância de amostras salobres, provavelmente resultantes de processos de salinização. A localização de algumas amostras em contexto geológico de praias fósseis justifica um processo natural de evolução hidroquímica, que se traduz na salinização.

Em determinadas situações, a salinização da água pode também ocorrer devido ao transporte de partículas de sais pelos ventos que sopram dos mares para os continentes incorporando-se no solo e devido a interação água-rocha os sais dissolvem-se na água. Quando as ondas do mar se chocam com barreiras ou rochas, a água pulveriza-se no ar, podendo ser transportada a lugares muito distantes, dependendo da direção e velocidade do vento. Esse fato pode ser verificado, por exemplo, quando se determina a quantidade de sais na água da chuva em diferentes distâncias do mar (Rhoades, 1992).

Segundo Teixeira e Barbosa (1958), em regiões húmidas de elevada precipitação, os sais são lixiviados até o nível estático (lençol freático) ou com maior frequência, eliminados através das águas superficiais, porém, nas áreas áridas, onde a evaporação é intensa e suplanta a precipitação, pode ocorrer a inversão sazonal da infiltração, quando parte da água subterrânea tem movimento ascendente por capilaridade, atravessando a zona subsaturada para alimentar a evaporação da superfície do solo.

Os fenómenos de salinização, nos aquíferos muito explorados, são comuns nas áreas costeiras.

A indicação de salinização é também evidenciada pelos valores baixos de alcalinidade, bem como pelos valores médios de cloreto (181 mg/L) e máximos superiores a 450 mg/L, claramente acima dos valores estabelecidos pela OMS para águas potáveis e pelas legislações portuguesas e cabo-verdiana.

As concentrações de sulfato estão dentro dos limites normais (25 e 200 mg/L) para águas potáveis. Neste contexto geológico não há fenómenos de oxidação de sulfuretos nem fenómenos de contaminação agrícola e/ou industrial que impliquem descargas de desinfetantes industriais sulfatados.

O magnésio ocorre com valores ligeiramente acima do limite de potabilidade, enquanto o cálcio se pode considerar normal. O mesmo não se pode dizer relativamente às formas nitrogenadas, atendendo a que os nitratos têm um valor médio (52 mg/L), ligeiramente acima do valor máximo admissível, chegando a atingir um máximo de 214 mg/L. Este valor é muito elevado e adverte claramente para a existência de uma fonte de contaminação por azoto.

A natureza orgânica ou inorgânica desta fonte de contaminação azotada esclarece-se atendendo aos valores de nitrito.

Os nitritos são instáveis, ou seja efémeros, pelo que o azoto se encontra normalmente na forma de nitrato ou de azoto amoniacal. No entanto, no presente caso os valores de nitrito superam consideravelmente os valores máximos admissíveis. Estes valores sugerem a existência de uma fonte de contaminação orgânica pelas seguintes razões: não há indícios de contaminação agrícola, já que esta seria denunciada por valores elevados de sulfato e de fosfato associado ao uso de fertilizantes. A outra razão prende-se com os elevados valores de nitrito, somente justificados pela oxidação do amónio, pois em ambiente oxidante não podem resultar da redução de nitratos.

Em síntese, a análise conjunta dos valores de nitrato, nitrito, sulfato e fosfato sugerem que não há contaminação difusa de origem agrícola, associada ao uso de fertilizantes azotados inorgânicos. Pelo contrário, o padrão destes iões revela a existência de contaminação orgânica, de tipo fecal.

Apresenta-se no apêndice F os digramas radiais com os parâmetros para os pontos de água em estudo projetados no mapa de uso de solo.

V.3.2. Discussão da análise cluster

Apesar do número reduzido de pontos, o dendograma resultante da análise cluster revela afinidades interessantes entre variáveis, que podem ajudar a interpretar fenómenos de interação mineral-água (Figura 17).

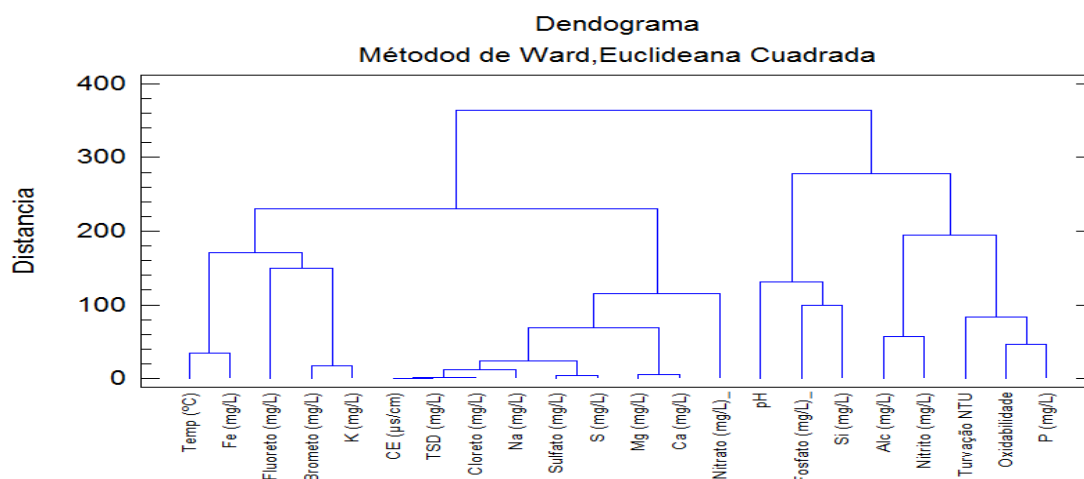


Figura 17- Dendrograma de variáveis

A influência marinha aparece claramente evidenciada pelo agrupamento que inclui a condutividade, cloretos, sódio e sólidos dissolvidos totais. Este subcluster é o que tem razões de afinidade mais elevadas. Fora deste cluster, mas com grande proximidade tem-se outro que agrupa os sulfatos, magnésio e cálcio. Portanto, todos estes elementos são indicadores marinhos, que refletem a litologia de fácies marinha.

Em todo o dendrograma, os parâmetros referidos são os únicos que revelam uma relação forte entre si. As restantes são pouco representativas, como se pode verificar pela elevada distância de corte de cada braço do gráfico.

A análise estatística dos resultados põe em destaque os seguintes aspetos: (1) Está-se perante uma degradação de qualidade de água por constituintes de natureza marinha; (2) Não há evidências de contaminação agrícola; (3) Há fortes evidências de contaminação orgânica, com origem nos esgotos de origem doméstica ou pecuária.

V.4-Fácies Hidroquímica

De modo a comparar e classificar a água em estudo, no que se refere aos iões dominantes, recorreu-se à projeção dos dados analíticos em diagrama hidroquímico, do tipo diagrama de Piper.

De acordo com Custódio e Llamas, (1983) a projeção de parâmetros químicos das águas em diagrama de Piper permite fazer a caracterização da fácies hidroquímica, sendo também importante para detetar a mistura de águas, precipitações, dissoluções, modificações, de entre outros. O diagrama de Piper é constituído por dois triângulos (aniónico e catiónico) e um losango, sendo que uma análise tem de ser representada por esses três pontos.

No figura 18 encontram-se projetados em diagrama de Piper os dados relativos às amostras de água do concelho de São Domingos. Relativamente aos catiões nota-se que há uma grande

concentração das amostras no centro de triângulo excetuando as amostras FT-13-SD, AD-SD e FST-857-SD que tendem em aproximar-se do pólo sódico potássico.

No que diz respeito à componente aniônica é maior a dispersão entre os dados tendendo a aproximar-se dos pólos cloretados e bicarbonatados restando três amostras (PT-29; P-70-SD; FST-922-SD) na zona considerada mista.

Considera-se assim que das amostras da água em estudo, 11 delas (cor lilás) podem ser classificadas de **mistas bicarbonatadas** equivalendo a 50% das amostras. Segue-se a classe **mista cloretada** com 5 amostras, representadas na figura com a cor vermelha.

As restantes amostras são classificadas como **mistas**, 3 amostras cor azul, **Sódicas Cloretadas** (possuindo 2 amostras cor verde) e **sódicas bicarbonatadas** (1 amostra cor preta).

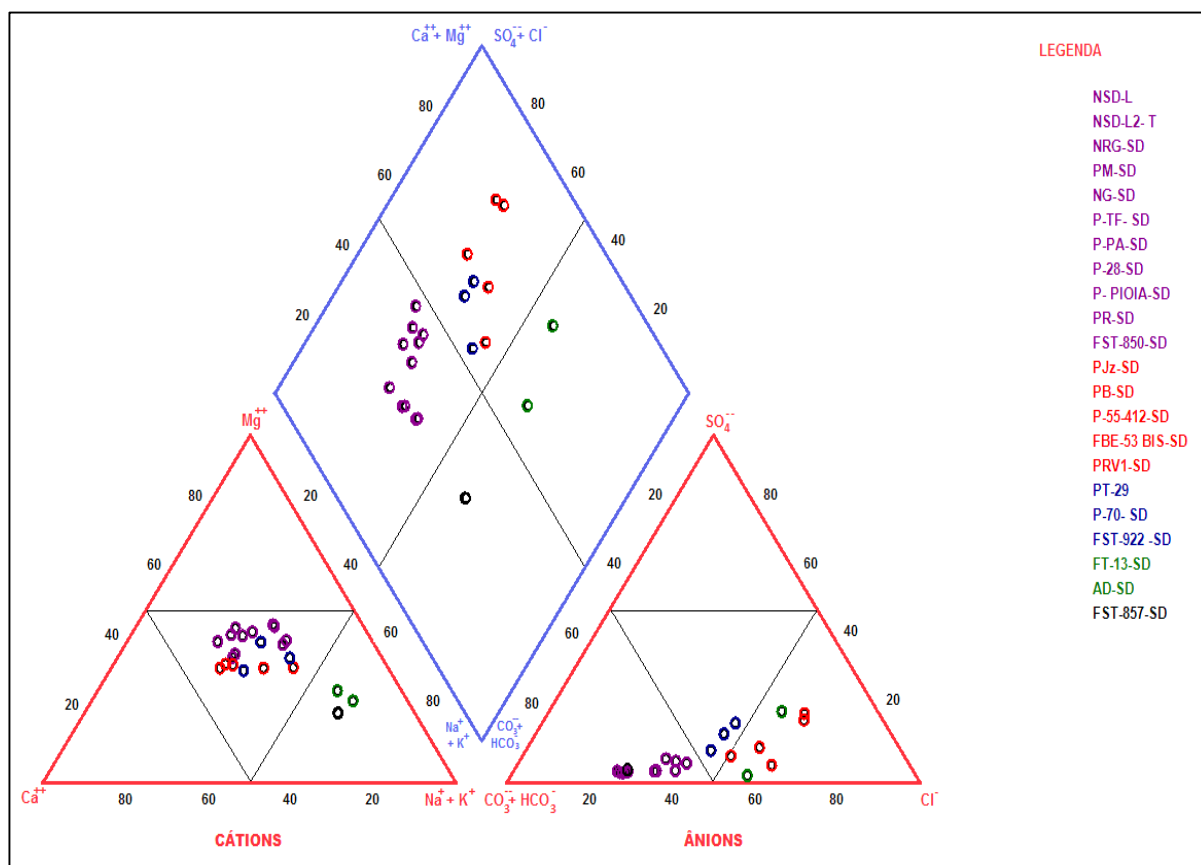


Figura 18- Projeção da composição química das amostras de água em estudo no diagrama de Piper

A grande maioria das amostras em estudo classifica-se como mistas bicarbonatadas, correspondendo a localização nas zonas mais altas do concelho, onde afloram as formações da Unidade Aquífera de Base e Intermédia e onde ocorre grande parte da precipitação.

A presença de ião bicarbonato poderá estar relacionada com a reação do CO₂ do solo durante o processo de infiltração nas zonas de recarga e com os primeiros estádios de dissolução de minerais carbonatados e hidrólise de minerais silicatados.

Nas águas cloretadas verifica-se a predominância do anião cloreto sobre os demais (50% ou mais). A maior parte das amostras integradas neste grupo estão localizadas em rochas sedimentares da unidade recente, maioritariamente areias, aluviões e cascalheiras de praia. Estas águas circulam a poucas profundidades o que lhe confere pouca lixiviação. Portanto foram consideradas como águas mistas, aquelas situadas na parte central dos diagramas triangulares, por não apresentarem concentração superior de um anião sobre os demais.

De uma maneira geral, a interação água-rocha explica o quimismo da água. No entanto, a influência da atividade antrópica representada pelos usos e ocupações do meio físico, também controla as propriedades hidroquímica.

V.5-Qualidade da água

O conceito de qualidade da água depende intrinsecamente do destino da mesma. Logo, as exigências para uma água destinada ao consumo humano são diferentes das destinadas ao uso industrial ou para rega.

No presente estudo, usaram-se os parâmetros apresentados nos pontos anteriores para avaliar a qualidade da água para consumo humano e para rega.

V.5.1-Qualidade da água para consumo humano

A qualidade da água para consumo humano é determinada por documentos legais elaborados, tanto a nível nacional como internacional conforme referido no capítulo II. As tabelas usadas para a realização deste estudo constam maioritariamente do Decreto –Lei n.º 236/98, por não terem sido alterados os valores paramétricos respeitantes nos diplomas posteriores e pelo Decreto-Lei nº8/2004.

Para tal, estes diplomas estabelecem para determinados parâmetros, de acordo com a finalidade da água, Valores VMA, e/ou VMR, tal como já foi descrito no capítulo II.

Para avaliar a qualidade das águas em estudo para consumo humano verificou-se, para todos os elementos analisados, quais os que excediam os valores recomendados pela legislação em vigor.

A tabela 6 mostra alguns parâmetros e respetivos valores padrão e indicam-se os valores mínimos e máximos registados nas amostras analisadas e, ainda, as amostras que ultrapassam os valores máximos admissíveis.

A dureza (representada na tabela por Dz) foi determinada pela soma da concentração de cálcio e magnésio.

Tabela 6- Avaliação da qualidade de águas da área de estudo de acordo com a legislação vigente em Cabo verde e Portugal

Parâmetros	Unidade	Decreto-lei n°8/2004 Cabo verde		Decreto-lei n° 236/98 Portugal		Máximo	Mínimo	Am >VMA
		VMR	VMA	VMR	VMA			
Alk	mg/l					466.5	129.5	—
Alumínio (Al)	mg/L	0,05	0,2	0, 05	0,2	<0.1	<0.1	—
Arsénio (As)	µg/L	-	10	-	50	<30	<30	—
C.E.‡	µs/cm	400	-	400		2350	369	—
Ca ²⁺	mg/l	100	-	100	-	192	12.8	—
Cádmio (Cd)	µg/L	-	5	-	5	<2	<2	—
Chumbo (Pb)	µg/L	-	10	-	50	<10	<10	—
Cl ⁻ §	mg/l	25	250	25		458.4	43.02	PB-SD, P-55-412; FT-13; AD-SD
Cobre (Cu)**	µg/L	500	1000		300	64	2	—
Crómio (Cr)	µg/L					<20	<20	—
Dz	mg/l	-	500	-	500	287	21.3	—
F ⁻	µg/L	-	1500-700	1500		280	100	—
Fe ²⁺	µg/L	50	300	50	200	3060	30	PB-SD
Fosfato PO ₄ ³⁻	mg/l					1.46	0.03	—
Fosforo (P)	µg/L	400	5000	400	5000	540	20	—
K ⁺	mg/l	10	12	10	12	14.3	4.3	AD-SD
Lítio (Li)	mg/L					<0.05	<0.05	—
Manganês (Mn)	µg/L	20	100	20	50	250	10	PT-29
Mg ²⁺	mg/l	30	50	30	50	105	8.5	PM-SD; P-PA-SD; P-28-SD; P-PIOIA; PR-SD; PJz-SD; PT-29; PB-SD; P-70-SD; P-55-412; FT-13; AD-SD
Na ⁺	mg/l	20	200	20	150	321	34.3	FT-13; AD-SD
Níquel (Ni)	µg/L	-	20	-	50	6	5	—
NO ₂ ⁻	mg/l	-	3	0,5	-	6.2	0.1	PM-SD; P-PA-SD; P-28-SD; P-PIOIA-SD; PJz-SD; PB-SD; P-70-SD; FT-13; AD-SD
NO ₃ ⁻	mg/l	25	50	25	50	213.94	0.06	PM-SD; P-TF- SD; PB-SD; P-70-SD; P-55-412; PRV1-SD
Oxidabilidade	mg/l	2	5	2	5	0.882	0.2835	—
PH		6,5-8,5	9,5	6,5-8,5	9,5	8.05	6.92	—
Prata (Ag)	µg/L	-	10	-		<5	<5	—

‡ - Correspondendo à mineralização das águas. Valor correspondente da resistividade: 2500 µ/cm, a 20°C.

§ - Concentração aproximada a partir da qual podem ocorrer efeitos nocivos: 200 mg/l

** - Acima de 3000 µg/l podem aparecer sabores adstringentes, colorações e corrosões.

Selénio (Se)	µg/L	-	10	-	10	<20	<20	Inconclusivo
SiO ²	mg/l					27.5	16.1	—
SO ₄ ²⁻	mg/l	25	250	25	250	167.88	6.87	—
TSD††	mg/l	-	1000	-	1500	1190	176	PB-SD; P-55-412; FT-SD; AD-SD
Turvação	NTU	0,4	5	0,4	4	0.5	0.08	—
Zinco (Zn)		5,0	3000	0,100		333	16	—

Os valores de alcalinidade oscilam entre os 129.5 a 466.5 mg/l, como se pode observar pela análise da tabela 6, os dois decretos legislativos não determinam valores padrões para este parâmetro. No entanto, embora do ponto de vista sanitário, a alcalinidade não tenha significado relevante, as águas de alta alcalinidade são desagradáveis ao paladar, principalmente se associadas a pH elevado, excesso de dureza e de sólidos dissolvidos. À semelhança da alcalinidade os decretos legislativos analisados não estabelecem um valor paramétrico para Crómio, Fosfato, Lítio e Sílica.

Relativamente ao Cloreto, destaca-se o incumprimento da amostra AD-SD. Com efeito, são quatro, as amostras que ultrapassam os valores estabelecidos pelas legislações (250 mg/l), representando cerca de 18.18% do conjunto das amostras analisadas.

A Dureza apresenta o valor máximo de 287 mg/l analisado na amostra PB-SD, sendo assim todas as amostras se enquadram dentro do padrão de potabilidade.

O Decreto-lei nº8/2004 de Cabo Verde e o Decreto-lei nº 236/98 Portugal, definem um valor máximo admissível para o ferro de 300 e 200 µg/L, respetivamente. As águas analisadas estão dentro dos padrões estabelecidos, excetuando a amostra PB-SD cujo valor de 3060 µg/L, é dez vezes superior o valor máximo estipulado.

O Potássio com o valor máximo de 14.3 mg/L ultrapassa o valor padrão apenas na amostra AD-SD.

No que concerne ao Manganês, das 22 amostras em estudo também se verifica incumprimento em apenas um delas (PT-29) com o valor de 250µg/L.

Em relação ao magnésio, verifica-se que 54,54% das amostras em estudo apresentam valores acima do valor máximo admissível (50 mg/L), com a amostra PT-29 registando um valor de 105 mg/L.

No que diz respeito ao sódio, o valor máximo de 321mg/L ultrapassa o limite estabelecido em apenas 2 amostras, correspondendo a 9% de todas as amostras de água analisadas.

†† - Para avaliação do TDS foi levado em conta o valor estabelecido no Decreto-lei nº8/2004 Cabo Verde

Na área de estudo a concentração do nitrito na água varia de 0.1 a 6.2 mg/l, com 9 amostras a ultrapassarem o valor limite determinado pela legislação cabo-verdiana. A legislação portuguesa determina o valor máximo admissível de 0,1mg/L. Sendo assim, de acordo com a normativa portuguesa, cerca de 41% das amostras em estudo estão em situação de incumprimento.

O nitrato tem um valor máximo admissível de 50mg/L. No conjunto das amostras tem-se um valor máximo de 213.94 mg/L, sendo o limite ultrapassado em quatro amostras, o que representa 27.27% do total das amostras em estudo.

Os valores obtidos para o selénio são inconclusivos, uma vez que, estes estão abaixo do limite de deteção.

O valor máximo do total de sólidos dissolvidos alcançados é de 1190 mg/l, com valores superiores ao legalmente aceitável em 4 amostras, o que representa 18.18% das amostras de água em estudo.

No que se refere ao alumínio, arsénio, condutividade elétrica, cálcio, cádmio, chumbo, cobre, fluoreto, fosforo, níquel, oxidabilidade, pH, prata, sulfato, turvação e zinco, os resultados mostram que os teores de todas amostras de águas estão dentro dos padrões de potabilidade, isto é inferiores aos respetivos valores paramétricos.

Com base nos critérios estabelecidos para a qualidade da água para o consumo humano, faz-se uma análise dos parâmetros que ultrapassam os valores padrões legalmente estabelecidos. O segundo elemento a exceder o padrão de potabilidade é o magnésio, com 12 amostras que corresponde a 54,54% das amostras de água analisadas.

Segundo Nicholson (1993), teores elevados em magnésio podem indicar reações subsuperficiais ou diluição com águas pouco profundas mais ricas em magnésio. Sendo assim, os valores elevados detetados nas águas em estudo confirmam tratar-se de água pouco profunda.

O nitrito é responsável pela falta de qualidade em 9 amostras, cerca de 40,90% das amostras analisadas.

Relativamente ao nitrato destaca-se pelo incumprimento em 6 amostras correspondente a 27,27% do total das amostras em estudo.

Em 4 amostras a água é imprópria para o consumo nos parâmetros cloreto e total de sólidos dissolvidos.

No que diz respeito ao sódio, elemento de origem predominantemente marinha ele é responsável pela falta de potabilidade em duas amostras.

Com valores superiores ao valor padrão surgem ainda o ferro e o potássio em apenas uma amostra.

Os restantes elementos incluídos na figura 19 estão dentro dos padrões de potabilidade legalmente aceites.

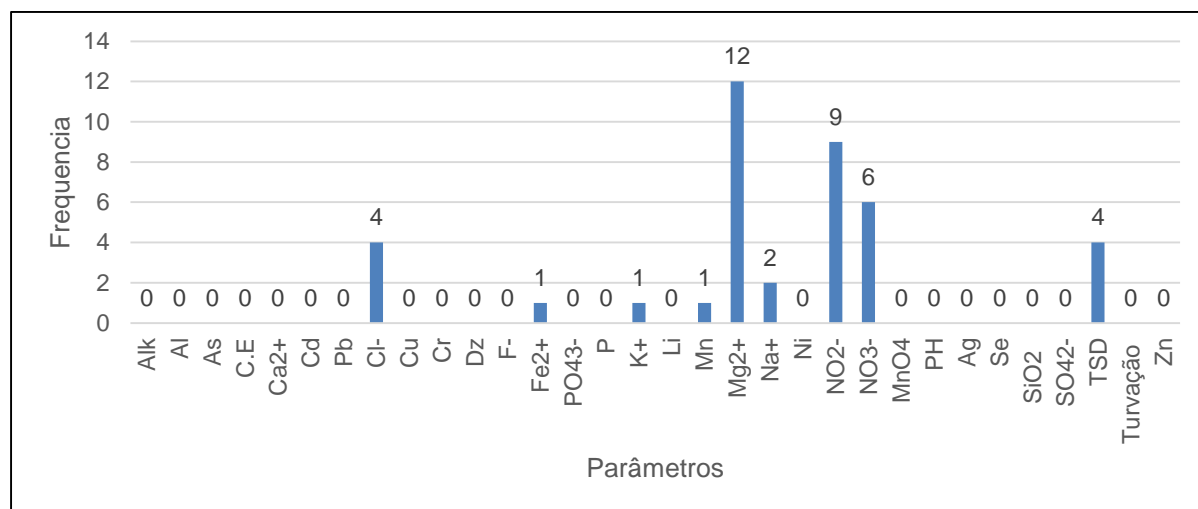


Figura 19- Número de amostras que ultrapassam o padrão de potabilidade legislado

De acordo com os critérios de avaliação da água para o consumo humano, a amostra que apresenta maior incumprimento é PB-SD, ultrapassando o valor máximo admissível em 7 parâmetros (figura 20).

A amostra AD-SD apresenta incumprimento em 6 parâmetros, seguindo-se P-55-412-SD e FT-13- SD que ultrapassam os valores padrões em 5 parâmetros.

Convém destacar a amostra P-70-SD com 4 parâmetros acima dos valores legalmente estabelecidos, de seguida surgem as amostras PM-SD, P-PA-SD, P-PIOIA, PJz-SD e PT-29 com valores que ultrapassam limites admissíveis em 3 parâmetros.

Nas amostras P-28-SD, PR-SD, surgem 2 parâmetros que não cumprem os critérios definidos para a água destinada ao consumo humano. Já as amostras P-TF-SD, PRV1-SD e FST-857-SD não cumprem o padrão de potabilidade em apenas um parâmetro.

Por fim, as amostras NSD-L, NSD-L2-T, NRG-SD, NG-SD, FBE-53-BIS-SD, FST-22-SD e FST-850-SD estão dentro do padrão de potabilidade.

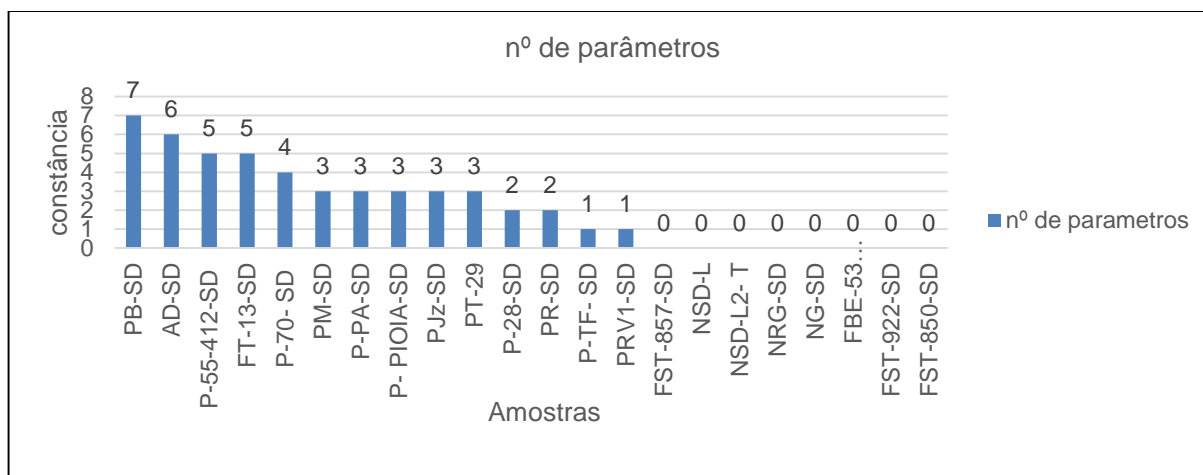


Figura 20- Número de parâmetros que ultrapassam os valores máximos admissíveis

A nível físico-químico, cerca de 36,4% das amostras de água em estudo cumprem integralmente os critérios de avaliação de água para o consumo humano. No entanto, importa enfatizar a necessidade de avaliar a qualidade microbiológica destas águas, uma vez que a maioria dos pontos de água visitados não possui proteção excetuando os furos. Nota-se que as amostras colhidas na formação PA, são as que apresentam padrão de potabilidade. Outro aspeto a destacar é que os pontos de água situados nas zonas agrícolas apresentam um nível bastante elevado de nitrito.

Importa alertar para o facto de as amostras PB-SD e AD-SD apresentarem piores níveis de potabilidade. Para o caso de PB-SD não é tão preocupante pelo facto de esta água não ser utilizada para o consumo humano. O que causa maior preocupação é a amostra AD-SD que é a água abastecida à população através da ligação domiciliária que conforme se constatou não cumpre os valores paramétricos para o consumo, pelo que são necessárias medidas urgentes de forma a debelar esta situação.

V.5.2-Qualidade de água para o uso agrícola

A água imprópria para consumo humano pode muitas vezes ser usada para outros fins, que exigem grande consumo de água: irrigação agrícola, rega de espaços verdes (incluindo jardins e áreas florestais), lavagem de ruas, sanitários públicos, combatem a incêndios e abastecimento de fontes decorativas (Silva *et al*, 2007).

Segundo Davis e De Wiest (1971), os critérios de classificação dependem do tipo de planta, do volume de rega, da qualidade do solo e do clima local.

A qualidade da água para a rega é fundamental para a continuidade da fertilidade dos solos.

Existem várias classificações para as águas destinadas a rega. Uma das mais utilizadas é do “U.S. Salinity Laboratory Staff” (USSLS, 1954), usando o diagrama Riverside, onde é

representada a taxa de absorção de sódio (TAS) em função da condutividade elétrica. De acordo com Custódio e Llamas (1983) este índice traduz o efeito da concentração relativa de cátions na acumulação de sódio no solo e é calculado pela seguinte fórmula:

$$TAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Sendo as concentrações expressas em miliequivalentes por litro (meq/L).

O sódio pode produzir efeitos prejudiciais como a redução da permeabilidade e o aumento da dureza do solo, devido a troca de íons cálcio e magnésio com o sódio.

O diagrama de Riverside (figura 20), permite assim avaliar a qualidade das águas para o uso agrícola, combinando as diferentes classes de perigo de salinização de solo (C) e perigo de alcalinização do solo (S). As águas em estudo agrupam-se da em quatro setores (C2-S1, C3-S1, C3-S2 e C4-S1).

De acordo com Custodio e Llamas (1983), as respectivas classes podem ser descritas de seguinte modo:

Perigo de salinização:

C2 – águas de salinidade média podendo ser usadas para rega em quantidades moderadas desde que ocorra alguma lixiviação, possibilitando o desenvolvimento de culturas com alguma tolerância aos sais;

C3 – águas muito salina com condutividade elétrica entre 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que não devem ser usados em solos com drenagem deficiente e quando são utilizadas há que gerir bem as culturas e a salinidade do solo;

C4 – águas que apresentam um perigo de salinização muito alto, com condutividade elétrica superior a 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e que em condições normais não devem ser usadas para rega. No entanto, em solos muito permeáveis e com culturas extremamente tolerantes poderão ser utilizadas com precaução.

Perigo de alcalinização:

S1 – águas com baixo teor de sódio, aplicável em quase todos os tipos de solo sem grande risco de desenvolver níveis preocupantes de concentração de sódio por troca iónica;

S2 – águas que apresentam um teor médio de sódio que pode causar problemas de alcalinização em solos de textura fina com baixa lixiviação e com elevada capacidade de troca catiónica. Por outro lado, podem ser aplicadas em solos grosseiros com boa permeabilidade.

Da análise da figura 21 é possível verificar que os índices SAR da água em estudo agrupam-se nas seguintes categorias:

- Classe C2-S1: 7 amostras (31,8%); águas com baixo perigo de alcalinização e médio perigo de salinização.
- Classe C3-S1: 12 amostras (54,5%); águas com baixo perigo de alcalinização e alto perigo de salinização
- Classe C3-S2: 2 amostras (9,1%); água com médio perigo de alcalinização e alto perigo de salinização.
- Classe C4-S1: 1 amostra (4,5%); águas com baixo perigo de alcalinização e perigo muito alto de salinização.

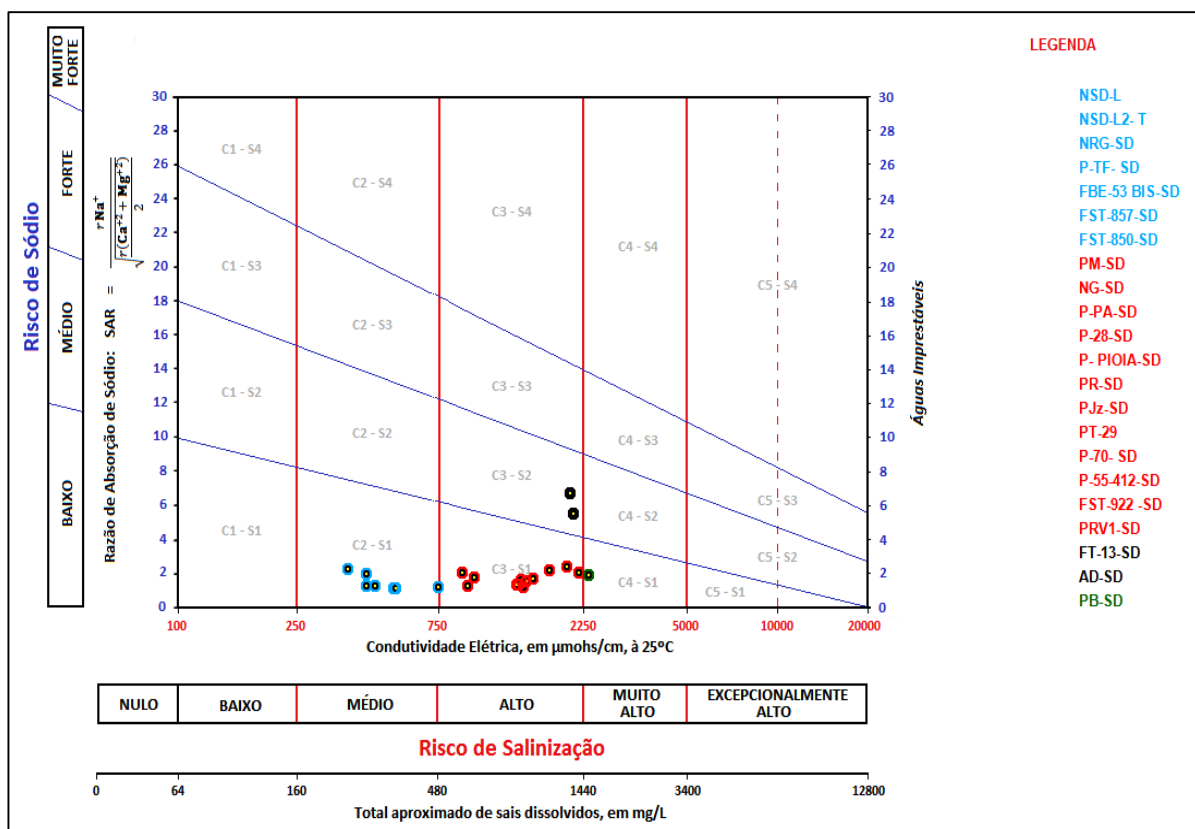


Figura 21- Diagrama Riverside para avaliação da qualidade da água para rega
Adaptado: U. S. Salinity Laboratory (1954)

As amostras NSD-L; NSD-L2- T; NRG-SD; P-TF- SD; FBE-53 BIS-SD; FST-850-SD; FST-857-SD são as únicas que podem ser classificadas como boas para a rega, pois estão projetadas no setor C2-S1, apresentando baixo perigo de alcalinização e um moderado perigo de salinização.

As amostras PM-SD; NG-SD; P-PA-SD; P-28-SD; P- PIOIA-SD; PR-SD; PJz-SD; PT-29; P-70- SD; P-55-412-SD; FST-922 – SD; PRV1-SD, projetadas no campo C3-S1 podem ser classificadas como razoáveis para rega, sendo no entanto aconselhável uma boa gestão da

cultura, pois apresentam valores de condutividade elétrica que lhe conferem alto perigo de salinização.

As amostras FT-13-SD e AD-SD apresentam alto risco de salinização e moderado risco de alcalinização, agrupando-se no setor C3-S2.

Destaca-se ainda a amostra PB-SD como sendo a que apresenta risco de salinização de muito alto, enquadrada na classe C4-S1.

De uma maneira geral as águas analisadas representam perigo de salinização. Cerca de 68% das amostras mostram evidências de perigo salinização alto a muito alto. Quanto à alcalinização apenas 9% das amostras apresentam perigo médio.

Em síntese, os valores das análises realizadas em relação aos limites legais da água para rega podem ser observados na tabela 7.

Tabela 7- Apreciação da qualidade da água para rega de acordo com o Anexo XVI do Decreto-Lei n.º 236/98

Parâmetros	Água para rega					
	Unidade	<VMR	>VMR	>VMA	VMR	VMA
Alumínio (Al)	mg/L	100%			5,0	20
Arsénio (AS)	mg/L	100%			0,10	10
Bário (Ba)	mg/L	100%			1,0	
Bérflio (Be)	mg/L	100%			0,5	10
Cádmio (Cd)	mg/L	100%			0,01	0,05
Chumbo (Pb)	mg/L	100%			5,0	20
Cloretos (Cl)	mg/L	22%	78%		70	—
Cobalto (Co)	mg/L	100%			0,05	10
Cobre (Cu)	mg/L	100%			0,20	5,0
Crómio (Cr)	mg/L	100%			0,10	20
Estanho (Sn)	mg/L	100%			2,0	—
Ferro (Fe)	mg/L	100%			5,0	—
Fluoreto (F)	mg/L	95%	5%		1,0	15
Nitrato (NO ₃)	mg/L	72%	28%		50	—
Manganês (Mn)	mg/L	100%			0,2	10
Sulfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	100%			575	—
Lítio (Li)	mg/L	100%			2,5	5,8
Zinco (mg/l Zn)	mg/L	100%			2,0	10,0
Níquel (mg/l Ni)	mg/L	100%			0,5	2,0
Vanádio (mg/l V)	mg/L	100%			0,10	1,0

Como se pode verificar através da análise da tabela 7, de entre os elementos analisados apenas o Cloreto (78%), Fluoreto (5%) e Nitrato (28%) ultrapassaram o VMR, não havendo nenhum elemento das análises que excederam o VMA.

Estes resultados permitem aferir que urge tomar medidas com vista à melhoria das condições da água da rede doméstica no concelho, pelo que se considera que a presente investigação faculta pistas importantes que poderão conduzir a alterações consideráveis da atual situação.

CAPITULO VI- CONCLUSÃO

A água é um elemento fundamental à sobrevivência da humanidade. Cabo Verde é um arquipélago com dificuldades de acesso a esse bem precioso, pelo que importa estudar a sua qualidade, compreender o seu estado, fatores que afetam a evolução hidroquímica, bem como perspetivar formas para a melhoria, conservação e qualidade da água.

A análise de parâmetros físico-químicos de qualidade da água é essencial para avaliar o risco das populações e propor eventuais soluções para o uso seguro deste recurso.

Nesta investigação estudou-se uma área do concelho de São Domingos, onde conforme se referiu, em termos hidrogeológicos existem três unidades: base, intermédia e recente, às quais correspondem diferentes propriedades da água. O abastecimento público no concelho é feito através de furos, poços, nascentes, rede de distribuição municipal, autotanques e chafarizes.

No que diz respeito à qualidade de água, observa-se que as amostras analisadas são mineralizadas, com valor médio de condutividade de $1361\mu\text{S}/\text{cm}$. A média do pH é de 7.5, pelo que se está perante águas neutras a alcalinas.

Na componente maioritária da água em estudo, o sódio é o catião dominante, seguindo-se o cálcio e o magnésio e por último o potássio. Relativamente aos aniões, o bicarbonato tem as concentrações mais elevadas, surgindo como anião dominante em 18 amostras. O segundo anião mais abundante é o cloreto, assumindo o domínio em 4 amostras. O nitrato, nitrito e sulfato surgem em concentrações baixas, não sendo dominantes em nenhuma das amostras estudadas. No entanto, algumas amostras apresentam valores superiores ao máximo recomendado para estes parâmetros.

Na componente vestigial, os elementos dominantes são o estrôncio, fósforo e manganês, todos eles com concentrações superiores a $100\mu\text{g}/\text{L}$.

As amostras de água em estudo foram classificadas, segundo o Diagrama de Piper, como mistas bicarbonatadas (50%), mista cloretada (22,7%) e mistas, sódicas (cloretadas e bicarbonatadas) (27%).

No que respeita à utilização da água para rega, segundo o Diagrama U. S. Salinity Laboratory, 68% das amostras mostram evidências de perigo salinização alto a muito alto e 32% apresentam risco médio. Quanto à alcalinização, apenas 9% das amostras apresentam perigo médio.

As amostras NSD-L, NSD-L2-T, NRG-SD, NG-SD, FBE-53-BIS-SD, FST-22-SD e FST-850-SD, correspondendo de 36,4% das amostras, cumprem integralmente os critérios

qualidade da água para consumo humano. Pelo contrário, as amostras PB-SD (em 7 parâmetros) e AD-SD (em 6 parâmetros) apresentam-se em situação de incumprimento, com os piores níveis de potabilidade. A amostra AD-SD é a que coloca a situação mais preocupante, na medida em que é a água abastecida à população através da ligação domiciliária. Com efeito, esta água não cumpre os valores paramétricos para o consumo, pelo que são necessárias medidas urgentes de forma a debelar esta situação de perigo para a saúde pública.

A problemática dos recursos hídricos tem-se revelado como a principal preocupação da população de São Domingos nos últimos anos. Este facto tem-se intensificado com a fraca precipitação que tem ocorrido e com a má gestão dos limitados recursos existentes no concelho. Estes fatores influenciam negativamente a qualidade de água, facto demonstrado pelas características da amostra AD-SD, que apesar de ser a água distribuída na rede domiciliária, se assume como uma das amostras que apresenta maior incumprimento e por isso maior risco de causar efeitos nocivos à saúde da população.

Dada a existência de evidências de salinização da água no concelho evidenciada pela elevada concentração de cloreto, sódio, cálcio e magnésio, torna-se necessário assegurar o controlo e análise da qualidade da água e realizar uma exploração adequada não só às necessidades da população, mas também à capacidade de produção dos aquíferos.

Em síntese, os resultados obtidos sugerem as seguintes conclusões: (i) a análise das amostras revela a existência de fenómenos de salinização, que promovem a degradação natural da qualidade da água, (ii) não há evidências de contaminação agrícola e (iii) há fortes evidências de contaminação orgânica, com origem em esgotos domésticos ou de pecuária.

Importa pois enfatizar a necessidade de avaliar a qualidade microbiológica destas águas, atendendo às deficientes condições de salubridade em que se encontram as captações de água subterrânea, à exceção dos furos.

Não obstante, existe água com qualidade para rega e para consumo humano, pelo que se propõe as seguintes recomendações:

- Criação de um plano de monitorização da qualidade de água no concelho;
- Melhoria da eficiência do uso da água na agricultura;
- A combinação de uma melhor gestão da irrigação, com investimento no conhecimento local e em tecnologias modernas;
- Conservar o solo e a água, enquanto principais recursos naturais sobre os quais se exerce a pressão da atividade agrícola, incentivando a utilização de práticas culturais que,

promovendo a rentabilidade económica das explorações agrícolas, sejam efetivas na conservação daqueles recursos.

- Planificação consolidada e adequada da gestão dos recursos hídricos no concelho;
- Criação de medidas alternativas para a exploração e distribuição da água no concelho;
- Estabelecer os limites de proteção dos pontos de água, principalmente dos furos e nascentes, com o intuito de minimizar possíveis contaminações;
- Maior investimento nos recursos (humanos e físicos) que permitirá um alavancar do setor no país.

Entende-se que a presente investigação representa uma importante fonte de disseminação de conhecimento atual do estado da água em Cabo Verde, designadamente do concelho, afigurando-se assim como o único e mais recente estudo realizado até à data desta natureza, que, seguramente, contribuirá positivamente para o desenvolvimento deste setor no concelho e no país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, M. (2010). *Fundamentals of Irrigation and On-farm Water Management* (Vol. 1). UK: Springer Science + Business Média LLC.
- Amaral, I. (1964). *Santiago de Cabo Verde. A Terra e os Homens*. Lisboa.
- APDA, A. P. (22 de Outubro de 2012). *Oxidabilidade*. Obtido em 07 de Janeiro de 2015, de http://www.apda.pt/site/upload/FT-QI-07-Oxidabilidade_23102012.pdf.
- ASTM. (1992). *Standard practice for cleaning laboratory glassware, plasticware and equipment used in microbiological analysis*. USA: ASTM Committee on Standards.
- Bartram, J., & Ballance, R. (1996). *Water Quality Monitoring: A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. UK: E&FN Spon.
- Beato, D. A., Oliveira, F. A., & Viana, H. S. (1999). *Projeto Circuito das Águas do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: CPRM.
- Berner, E. K., & Berner, R. A. (1996). *The global environment: water, air and geochemical cycles*. New Jersey.
- Brooks, D. B. (2002). *Water: Local level Management*. Ottawa: International Development Research Centre (IDRC).
- Celligoi, A., & Duarte, U. (2002). *Hidrogeoquímica do Aquífero Caiua no Estado do Paraná. Boletim Paranaense de Geociencias*. Paraná.
- CETESB. (2004). *Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2001 – 2003*. São Paulo: CETESB.
- Cetesb. (2009). *Qualidade das águas interiores no estado de são paulo*. Obtido em 23 de Março de 2015, de [google.com: http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/água/águas-superficiais/variaveis.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/água/águas-superficiais/variaveis.pdf)

- Cruz, J. (2004). Ensaio sobre a água subterrânea nos Açores: História, ocorrência e qualidade. p. 288.
- Custodio, E., & Llamas, M. (1996). *Hidrologia subterranea* (2 ed.). Barcelona: Omega.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). *Hidrologia Subterrânea*. Barcelona: I Omega.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). Hidrologia subterrânea. Em E. O. Garcia, *Gestão integrada dos Recursos Hidricos na Ilha do Maio - Cabo verde* (p. 88). Braga.
- Dezuane, J. (1997). *Handbook of Drinking Water Quality*. EUA: John Wiley & Sons, Inc, NY.
- Estatística, I. N. (2010). *Censo*. Praia. Cabo verde.
- Falcão, H. (1978). *Perfil Analítico das águas minerais*. Brasil: Ministerio das Minas e Energia.
- Gaur, R. (2008). Environmental Engineering Laboratory Manual. Em M. S. Brás, *Caracterização das águas de Trás-os-Montes. Estudo comparativo dos resultados da Terra Fria e da Terra Quente* (p. 36). Bragança- Portugal.
- Gaur, R. (2008). *Environmental Engineering Laboratory Manual*. New Delhy: New Age International (P) Ltd, Publishers: ebrary, Inc.
- Gomes, A. D. (2006). *A problemática dos recursos hídricos na ilha de Santiago*. Praia.
- Gomes, A. d. (2007). *Hidrogeologia e recursos hídricos da ilha de Santiago (Cabo Verde)*. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro.
- Gomes, A. d., & Pina, A. F. (2004). *As Principais Unidades da ilha de Santiago*. Praia.
- Gray, N. (2008). *Drinking Water Quality – Problems and Solutions*. Cambridge University Press: 2nd edition.
- Gray, N. (2008). *Drinking Water Quality, Problems and Solutions* (Second Edition ed.). Cambridge University, Inglaterra.
- Greenberg, A., Clesceri, L., & Eaton, A. (1992). *Standard methods for the examination of water and wastewater American Public Health Association (APHA)}*. Washington, DC.

- Hem, J. D. (1985). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water (Vol.2254). Em A. Lima, *Composição e origem de Águas Minerais Naturais- Exemplo Caldas da Saude* (p. 132). Portugal: Almedina.
- Hindi, E. C. (2001). *Caracterização hidroquímica e hidrogeológica das fontes cársticas das bacias dos rios Tumiri, Água Comprida, Fervida e das Onças – Colombo-Pr. Boletim Paranaense de Geociências*. Parana: UFPR.
- Illueca, J., & Walter. (1999). *Precious, finite and irreplaceable*. Obtido em 15 de Janeiro de 2015, de <http://ourplanet.com/imgversn/83/rast.html>.
- INE, I. N. (2010). *Censo. Praia. Cabo Verde*.
- Kimberly L. Andreson, J. E. (2005). *Persitence and iferential survival of fecal indicator bacteria in subtropical waters and sediments*.
- Leo ML Nollet, a. L. (2000). *Handbook of water analysis*. New York: CRC press.
- Lima, A. S. (2010). *Composição e origem das águas minerais naturais- exemplo de Caldas da saude*. Santo Tirso, Porto, Portugal: Edições Almedina SA.
- Lima, J., França, A., & Loiola, H. (18 de Agosto de 2013). Implicações Hidroquímicas da Condutividade Elétrica e do Íon Cloreto na Qualidade das Águas Subterrâneas do Semiárido Cearens. p. 4.
- Lux-Development. (2008). *PROJECTO CVE/069 – ÁGUA DE SÃO DOMINGOS (Fase II)- Elaboração de um modelo de cálculo das tarifas de água*. Cabo Verde.
- Marcado, A. (1988). *Intrusion Marina- Factor determinante en la gestion de los acuíferos costeros*. Granada, Espanha.
- Martins, A. M. (2002). *Águas minerais do Estado do Rio de Janeiro*. Niteroi, RJ.
- Mazor, E. (1991). *Applied Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*. New york: Halsted Press, a Division of Jhn Wiley & Sons, Inc.
- McNeely, R. N. (1979). *Water Quality Sourcebook: A guide to water quality parameters*. Canada: Environment Canada.
- Mendes, B. S. (2004). *Qualidade de água para o consumo Humano*. Lidel.

- Mendes, B., & Oliveira, J. (2004). *Qualidade da água para consumo humano*. Ldl, edições técnicas lda.
- Mestrinho, S. (2006). *Qualidade das águas. Águas subterrâneas e poços tubulares profundos*. Brasil: 1ª edição.
- Nações Unidas, A. O. (2010). *Right to Water*. ONU- Habitat.
- Neto, L., & Bettencourt, T. (2009). *Disponibilidade de água doce no mundo*. Porto: PROJECT FEUP.
- Nicholson, K. (1993). Geothermal fluids. Chemistry and exploration techniques . Em A. Lima, *Composição de água mineral natural* (p. 132). Portugal: Almedina.
- Nollet, L. (2007). *Handbook of Water Analysis*. CRC Press.
- Ongley, E. D. (2006). *Control water pollution from agriculture*. Roma: Nações Unidas.
- Padua, H. (2005). *A química da água (hidroquímica) e suas situações físicas, sentido e temperatura. Sistemas aquáticos-aquicultura*. Obtido em 07 de Janeiro de 2015, de http://www.serrano.neves.nom.br/helcias/008_helcias.pdf.
- PAMSD, P. A. (2004). *Plano Ambiental Municipal*. São Domingos.
- Pedrosa, C. A., & Caetano, F. A. (2002). *Águas subterrâneas*. Brasília: Agencia Nacional de Águas.
- Peixoto, J. (2011). *ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS*. Brasil.
- Rhoades, L. (1992). *The use of saline waters for crop production. FAO Irrigation and Drainage*. Rome.
- Riter, J. (2010). Water Quality, Principles and Practices of Water Supply Operations. Em M. S. Brás, *Caracterização das águas de Trás-os-Montes. Estudo comparativo dos resultados da Terra Fria e da Terra Quente- Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental* (p. 22). Bragança, Portugal.

- Rivera, B. C. (12 de setembro de 2014). (<http://www.portaleducativo.net/cuarto-basico/638/el-água-sus-diferentes-usos>). Obtido em 15 de Janeiro de 2015, de El água: sus diferentes usos e conservation.
- Rodier, J. (2009). *L'Analyse de l'eau* (9 ed.). Paris: Dunod.
- Rubio, J. M., & Magán, P. R. (1998). *Águas Subterráneas- Captación e Aprovechamiento*. Sevilla- Espanha: Progenza.
- SAAS, S. A. (2015). *Relatorio de actividades*. São Domingos.
- Scopel, R. M., Teixeira, E. C., & Binotto, R. B. (2005). *Caracterização hidrogeoquímica de água subterrânea em área de influência de futuras instalações de usinas hidrelétricas – Bacia Hidrográfica do Rio Taquarantass/RS* (Vol. 28). Brasil, São Paulo.
- Serralheiro, A. (1976). *A geologia da ilha de Santiago (Cabo Verde)*. Lisboa.
- Simons, J. (2010). *Plain Talk about Drinking Water: Questions and Answers about the Water You Drink*. EUA: American Water Works Association.
- Solís, E. T. (2002). http://www.água.bio.br/botao_d_F.htm. Obtido em 11 de Janeiro de 2015, de Usos múltiplos da água.
- Sousa, E. R. (2001). *Noções de qualidade de Água*. Lisboa.
- Sousa, E. R. (2001). *Noções de qualidade de Água*. Lisboa.
- Sousa, R., & Perrone, M. (08 de Agosto de 2001). *Padrões de potabilidade da água. Programa Estadual de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo*. Obtido em 10 de Dezembro de 2014, de google: www.cetesb.sp.gov.br
- SOUZA, R., & Perrone, M. (s.d.). *Padrões da potabilidade da água*. Obtido em 29 de Junho de 2014, de <http://cvs.sal.sp.gov.br/vol2.html>.
- Sticht, G., & H.Käferstein. (1988). Bromine. Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds. Em A. Lima, *Composição de águas minerais naturais* (p. 161). Portugal: Almedina.

- Teixeira, A., & Barbosa, L. (1958). *A agricultura de Cabo Verde. Cartas agrícolas. Problemas agrários*. Lisboa: Ministério do Ultramar. Memórias da Junta de Investigação do Ultramar.
- Udech, P. (2004). *A Guide to Healthy Drinking Water “All You Need to Know About The Water You Drink”*. EUA: iUniverse, Inc.
- Unesco. (2006). *Propriedades físico química da água*. Obtido em 07 de Dezembro de 2014, de https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81gua#Import.C3.A2ncia_para_a_humanidade.
- UNESCO. (2006). *Propriedades físico química da água*. Obtido em 07 de Dezembro de 2014, de https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81gua#Import.C3.A2ncia_para_a_humanidade.
- Unesco, T. U. (2006). *Water for people, water for life*. Obtido em 14 de Janeiro de 2015, de <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556e.pdf>.
- Unesco, W. W. (2003). <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556e.pdf>. Obtido em 10 de Janeiro de 2015, de Water for people, water for life.
- USGS, U. G. (08 de Abril de 2014). <http://water.usgs.gov/edu/characteristics.html#Conductance>. Obtido em 16 de Janeiro de 2015, de Water Properties and Measurements: <http://water.usgs.gov/edu/characteristics.html>
- Valente, T. M. (2004). *Modelos de caracterização de impacte ambiental para escombreyras reactivas : equilíbrio e evolução de resíduos de actividade extractiva*. Braga.
- Who, W. H. (2004a). *Guidelines for drinking - water quality*. Geneva.
- Zimbres, E. (2005). *Águas Subterraneas*. Obtido em 10 de Dezembro de 2014, de www.meioambiente.pro.br.

APÊNDICE A

Padrões de controlo de índice de qualidade de água⁷

		Água para o consumo humano				Água para rega		
		Decreto-lei nº8/2004 Cabo verde		Decreto-lei 236/98 Portugal		OMS	Decreto-lei 236/98 Portugal	
Parâmetros	Unidade	VMR	VMA	VMR	VMA	Valor de referência	VMR	VMA
Alumínio	mg/l Al	0,05	0,2	0,05	0,2		5,0	20
Anidrido carbónico livre	mg/l CO ₂	-	-	-	-			
Arsénio	mg/l As	-	0,01	-	0,05	0,01	0,10	10
Azoto amoniacal	mg/l NH ₄	0,05	0,5	0,05	0,5			
Azoto Kjeldahl	mg/l N	-	1	-	1			
Bário	µg/l Ba	-	700	100	-	700	1000	
Boro	µg/l B	100	300	1000		2400	500	3750
Cálcio	mg/l Ca	100	-	100	-			
Cheiro	Fator de diluição	0	2(a 12 ^o c) 3(25 ^o c)	0	2(a 12 ^o c) 3(25 ^o c)			
Cloretos	mg/l Cl	25	250	25		250	70	
Cloro residual livre	mg/l HOCl	-	-	-	-			
Cobre	µg/l Cu	100 ⁸ 500 ⁹	1000	100 3000	-	2000	200	5000
Condutividade	µS/cm	400	-	400		-	1000	
Cor	mg/l escala Pt/Co	1	20	1	20	15		
Dureza total	mg/l CaCO ₃	-	500	-	500	500		
Fenóis (índice de fenol)	µg/l C ₆ H ₅ OH	-	0,5	-	0,5			
Ferro	µg/l Fe	50	300	50	200	300	5000	
Fluoretos	µg/l F 8°C-12°C 25°C-30°C	-	1500 700	1500		1500		
Fósforo	µg/l P ₂ O ₅	400	5000	400	5000			
Hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados	µg/l	-	10	-	10			
Magnésio	mg/l Mg	30	50	30	50			
Manganês	µg/l Mn	20	100	20	50	400	200	10000
Nitratos	mg/l NO ₃	25	50	25	50	50	50	
Nitritos	mg/l NO ₂	-	3	0,5	-	0,1		
Oxidabilidade ou valor ao permanganato	mg/l O ₂	2	5	2	5			
Oxigénio Dissolvido	% de saturação	-	-	-	-			
Pesticida individual	µg/l	-	0,1	0,1				
Pesticida total	µg/l	-	0,5	0,5		15		
pH	Escala de Sorensen	6,5-8,5	9,5	6,5-8,5	9,5	6,5 - 9,5	6,5- 8,4	4,5-9,0
Potássio	mg/l K	10	12	10	12			
Prata	µg/l Ag	-	10	-		10		
Sabor,	Fator de diluição	0	2(a 12 ^o c) 3(25 ^o c)	0	2(a 12 ^o c) 3(25 ^o c)			

7 Fonte: Adaptado do Decreto-Lei nº8/2004 de 23 de Fevereiro da República de Cabo Verde; Decreto-Lei n.º 236/1998 de 1 de Agosto de Portugal; Padrão de aceitação para consumo humano, OMS 4ª edição.

8- Valor a ser cumprido a seguir ao sistema ou unidade de tratamento.

9 - Valor a ser cumprido após 12 horas de permanência na rede de distribuição e no ponto em que é posta à disposição do consumidor.

Sódio	mg/l Na	20	200	20	150	50		
Sólidos dissolvidos totais	mg/l	-	1000	-	1500	1000	640	
Sólidos suspensos totais	mg/l	-	Ausência	Ausência	-		60	
Substâncias extraíveis com clorofórmio	Resíduo seco mg/l	0,1	-		-			
Sulfatos	mg/l SO ₄	25	250	25	250	250	575	
Sulfureto de hidrogênio	mg/l S	-	0,05	-	Não detectável organolepticamente			
Temperatura		12	25	12	25			
Turvação	NTU	0,4	5	0,4	4	5		
Zinco	µg/l Zn	(1) 0,100 (2) 5,0	3000	0,100 5,0		3000	2000	10000

APÊNDICE B

Dados pluviométricos no concelho de São Domingos

Fonte: Adaptado do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG)

PLUVIOMETRIA (mm) TOTAL MENSAL E ANUAL													
Anos	Jan	Fev.	Mar	Abr.	Mai.	Jun.	Jul	Ag.	Set	Out	Nov.	Dez	TOTAL
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	127.1	251.6	127.8	0	0	506.6
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	184.5	57.7	166.4	0	0	408.5
2012	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.4	345.3	13.1	0	0	407.7
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	98.8	437.6	0	23.7	193.9	760.2
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.9	89.9	0	0	0	139.8

APÊNDICE C
Principais métodos analíticos de referência utilizados na caracterização das
amostras de água do concelho de São Domingos
CI – Cromatografia iónica; ICP-OES- espectrometria de emissão atômica por
plasma acoplado indutivamente

	Parâmetro	Técnicas	Métodos de referência (AWWA, 1992)
Análise de Metais e Metaloides	Alumínio	ICP-OES	Standard Methods 3113 B
	Arsénio	ICP-OES	Standard Methods 3113 B
	Cálcio	ICP-OES	Standard Methods 3120 B
	Cobre	ICP-OES	Standard Methods 3120 B
	Ferro total	ICP-OES	Standard Methods 3120 B
	Magnésio	ICP-OES	Standard Methods 3120 B
	Manganês	ICP-OES	Standard Methods 3120 B
	Potássio	ICP-OES	Standard Methods 3120 B
	Silício	ICP-OES	Standard Methods 3120 B
	Sódio	ICP-OES	Standard Methods 3120 B
	Zinco	ICP-OES	Standard Methods 3120 B
Análise de aniões	Brometo	CI	S-9 (Metrohm, 2000)
	Cloreto	CI	S-9 (Metrohm, 2000)
	Fosfato	CI	S-9 (Metrohm, 2000)
	Fluoreto	CI	S-9 (Metrohm)/Standard Methods 4500 C
	Nitrato	CI	S-9 (Metrohm, 2000)
	Nitrito	CI	S-9 (Metrohm, 2000)
	Sulfato	CI	Standard Methods 4500 E
Análise de outros parâmetros	Alcalinidade	Volumetria	Standard Methods 2320 B
	Sólidos Suspensos totais	Gravimetria	Standard Methods 2540 D

APÊNDICE D
Localização dos pontos e uso de água

Amostras	Tipo	Uso de água	Coordenadas	
			Latitude	Longitude
NSD-L	Nascente	Consumo humano e rega	15.0299	-23.582
NSD-L2- T	Tanque	Rega	15.0299	-23.582
NRG-SD	Nascente	Consumo humano e rega	15.0313	-23.583
PM-SD	Poço	Rega	15.0316	-23.581
NG-SD	Nascente	Consumo humano e rega	15.0318	-23.58
P-TF- SD	Poço	Rega e uso doméstico	15.0334	-23.578
P-PA-SD	Poço	Consumo para animais; rega e uso doméstico	15.0327	-23.573
P-28-SD	Poço	Uso na agricultura; consumo para animais; regas e lavagens	15.0319	-23.572
P- PIOIA-SD	Poço	Rega; uso doméstico e consumo para animais	15.0311	-23.569
PR-SD	Poço	Regas e lavagens; consumo para animais	15.029	-23.568
PJz-SD	Poço	Uso na agricultura; consumo para animais; regas e lavagens	15.0281	-23.561
PT-29	Furo	Rega e lavagens	15.0028	-23.522
PB-SD	Poço	Lavagens e uso doméstico	15.0029	-23.526
P-70- SD	Poço	Rega e consumo para animais	15.0069	-23.579
P-55-412-SD	Poço	Rega e uso na agricultura	15.019	-23.547
FT-13 - SD	Furo	Uso na agricultura e consumo humano	15.0198	-23.55
FBE-53 BIS-SD	Furo	Consumo humano	15.0211	-23.553
FST-922-SD	Furo	Rega, consumo humano e lavagens	15.0325	-23.602
FST-850 -SD	Furo	Consumo humano	15.0309	-23.601
PRV1-SD	Poço	Uso doméstico; consumo para animais e lavagens	15.0343	-23.58
FST-857-SD	Furo	Consumo humano e uso doméstico	15.0354	-23.579
AD-SD	Domicilio	Consumo humano	15.0233	-23.558

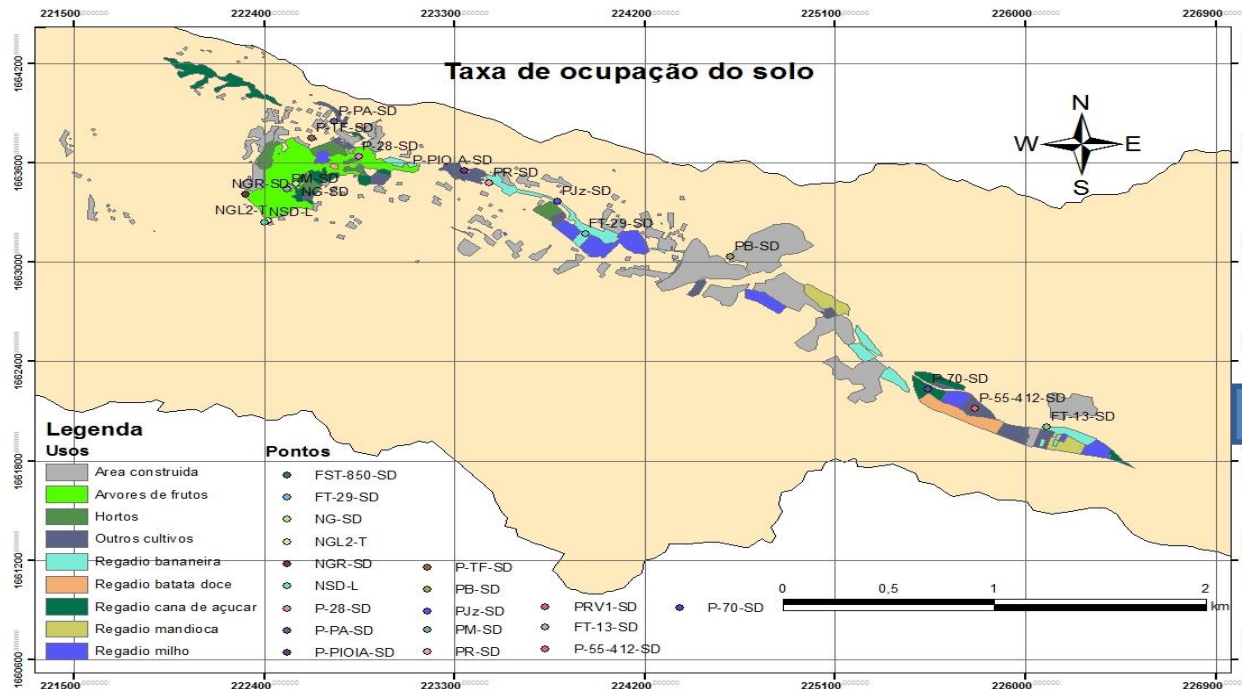
APÊNDICE E

Elementos químicos apresentados nas amostras de água e os seus respetivos limites de deteção (valores em µg/L).

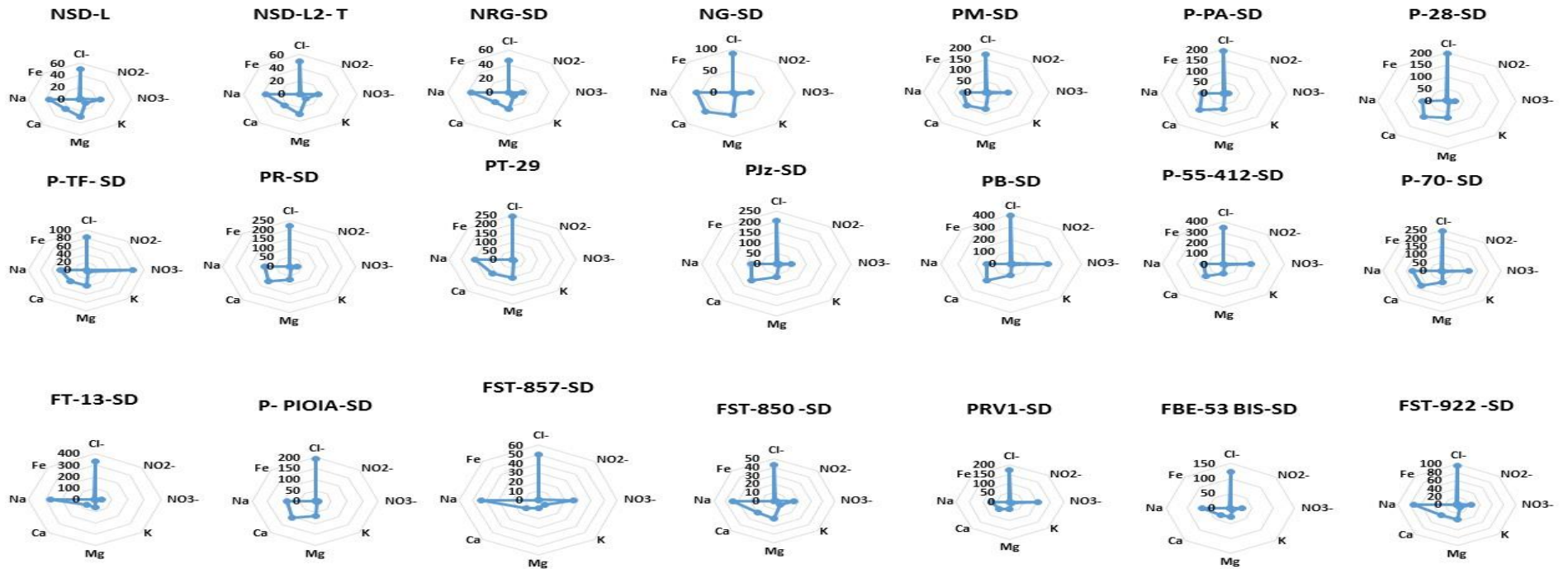
Parâmetros	Unidade	L.D.
Ba	µg/L	20
Al	µg/L	100
Mn	µg/L	10
Ag	µg/L	5
As	µg/L	30
Be	µg/L	2
Bi	µg/L	20
Cd	µg/L	2
Ce	µg/L	30
Co	µg/L	2
Cr	µg/L	20
Cu	µg/L	2
Li	µg/L	50
Mo	µg/L	5

Parâmetros	Unidade	L.D.
Ni	µg/L	5
P	µg/L	20
Pb	µg/L	10
Sb	µg/L	10
Se	µg/L	20
Sn	µg/L	10
Sr	µg/L	10
Te	µg/L	10
Ti	µg/L	10
Tl	µg/L	10
U	µg/L	50
V	µg/L	10
W	µg/L	10
Y	µg/L	10
Zn	µg/L	5

APÊNDICE F



Diagramas radiais para os pontos situados no interior da bacia, projetados no mapa usos do solo.



ANEXO A

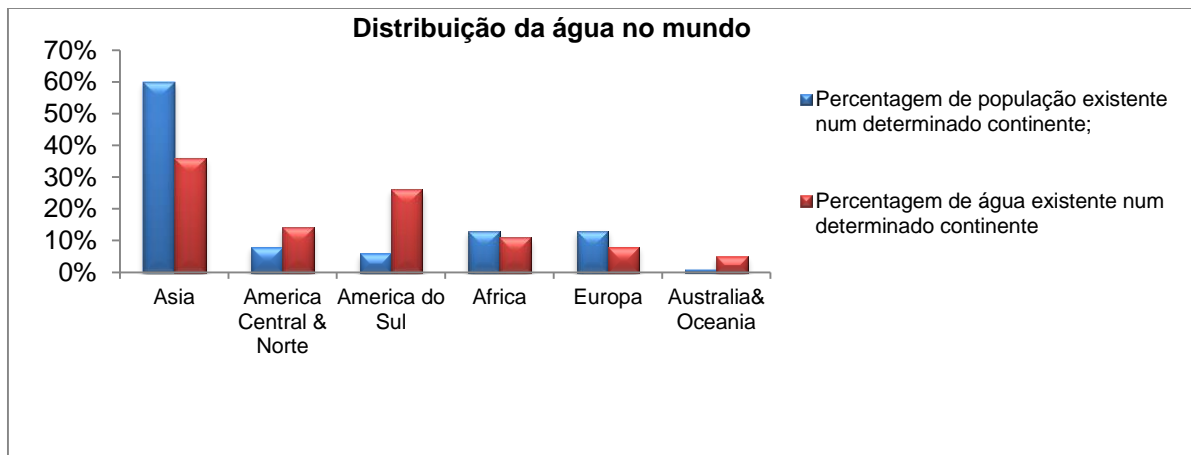


Figura 22- Percentagem de População Versus Percentagem de Água por Continente

Fonte: (Unesco T. U., 2006), adaptado

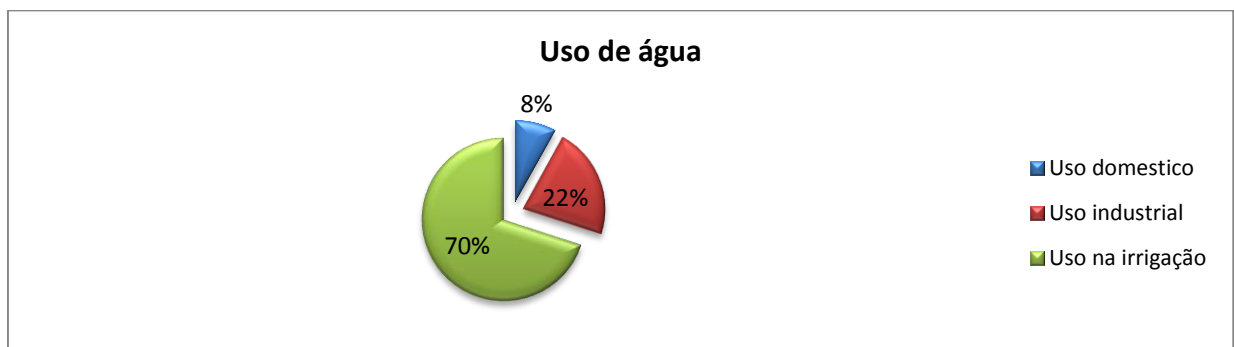


Figura 23 - Principais usos da água

Fonte: Organização das nações unidas para a alimentação (FAO, 2010)



Figura 24 - Comparação da quantidade de água usada para os principais grupos de países

Fonte: Water for people, Water for life, UNESCO, 2006 (adaptado)

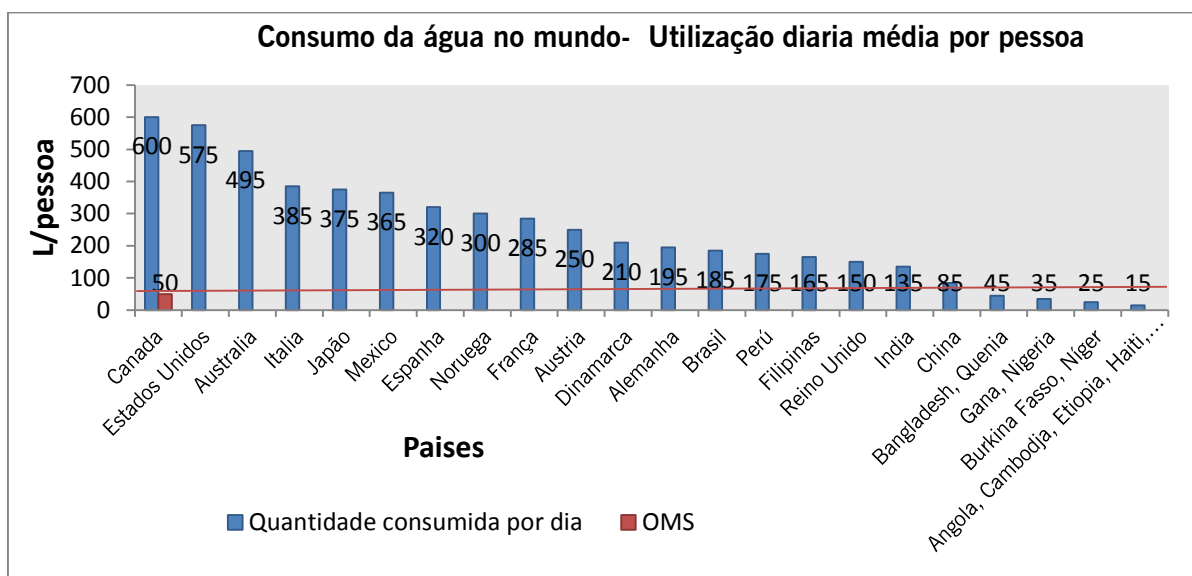


Figura 25 - Consumo da água no mundo- Utilização diária média, disparidade no consumo

ANEXO B
Quadro Estratigráfico do concelho de São Domingos
Carta Geológica de Cabo Verde- Ilha de Santiago- Folhas 55 e 56 na escala 1/25000
(Serralheiro, 1976)

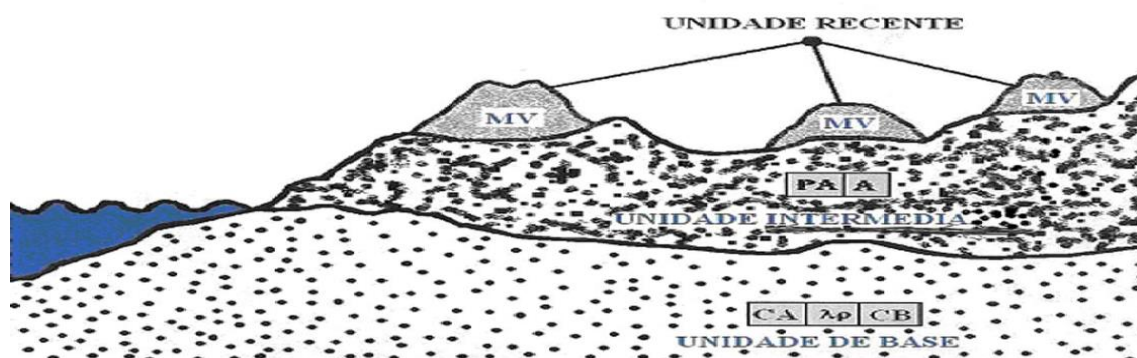
Nº	Formações	Fácies Terrestre	Fácies Marinha	Idade	Distribuição
6	Formações sedimentares recentes	Aluviões, Areias, Dunas; Depósitos de Vertente e depósito de enxurrada	Areias e Cascalheiras da praia	Holocénico	Ribeiras de Chão de Coqueiro, Pau de Saco, Nora, Neta Gomes, Praia Formosa, Gaspar, João Garrido, São Domingos, Banana.
5	Formação de Monte das Vacas (MV),	Cones de piroclastos basálticos; pequenos derrames associados	Areias e Cascalheiras da praia	Plistocénico	Massa Pé, Chão Grande, Monte Leão, Dacabalaio, Covão de Rui Vaz, Vale Cachopo.
4	Formação de Pico de Antónia (PA)	d)Piroclastos e mantos intercalados		Pliocénico	Encontram-se distribuídos por concelho todo principalmente nos montes de Lém Vieira e Chaminé.
		c)Mantos e piroclastos intercalados			
		b)Rochas traquifonolíticas	Conglomerados e Calcarenitos fossilíferos;		
		a) Série espessa de mantos e piroclastos intercalados	Mantos superiores; mantos e piroclastos inferiores	Miocénico	
3	Formação dos Órgãos (CB)	Depósitos conglomerático-brechóides; Calcarenitos fossilíferos			Pau de Saco, Milho Branco, Chaminé, Mendes Faleiro Cabral, Figueira Branca, Pinha, Lém Pereira, Godim, Rema Rema, Mato Afonso, Mendes Faleiro Rendeiro, Banana.
2	Formação dos Flamengos		Mantos de Basaltos, Basanitos, Limburgitos, Ancaratrutos		Nossa Senhora da Luz, em Grazote e Praia Formosa.

1	Formação do Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA)	d) Gabros, sienito e rochas afins		Ante-Miocénico	Lém pereira, Caiada, Lagoa, Covão Engenho, João Garrido, Tenda, Boa Vista - Colégio, Fonte Cima ou de Riba, Praia Formosa e Milho Branco,
		c) Brechas intravulcânicas e rochas afins			
		b) Filões e chaminés de Fonólitos e rochas afins			
		a) Filões de ancoratrutos Limburgitos			

ANEXO C

Esquema hidrogeológico geral para a ilha de Santiago

Fonte: Mota Gomes, Lobo de Pina, 2004



ANEXO D

Ficha registo dos pontos de água

Ficha de registo de pontos de água do inventário hidrogeológico		Trabalho:
Campos da ficha	Registos a realizar	Operador:
Referência do ponto de água		Data:
Tipo de ponto de água	Linha de água, zona saturada, nascente, mina, furo horizontal, poço e furo vertical	
	Registo da data de construção	
Tipo de água	Água normal, água mineral	
	Captação privada, pública ou coletiva	
	Limites de proteção	
	Título de utilização	
Características técnicas	Zona saturada, área de descarga	
	Nascente: descarga pontual, charca, tanque, emerge de rocha ou solo; condições de emergência	
	Mina: formas, dimensões, comprimento, direção	
	Poço: profundidade, diâmetro, revestimento	
	Furo: profundidade, revestimento, diâmetro, zona dos raios, bomba instalada: potência e profundidade	
Zona produtiva	Cota da (s) zona (s) aquífera (s)	
Local	Designação	
	Coordenadas GPS, M, P, cota (Hayfford Gaus datum lisboa)	
Proprietário	Nome e assinatura (ou do seu representante)	
Utilização	Consumo humano, consumo para animais, regas e lavagens, uso na agricultura, uso na indústria, uso medicinal	
Focos poluentes	Focos poluentes na envolvente	
Comportamento	Seco, permanente, temporário, variação de caudal	
Geomorfologia	Zona de feto, vertente, talvegue menor na vertente, transição vertente para talvegue, talvegue	
Litologia	Litologia da área envolvente do ponto de água	
	Litologia do aquífero	
Estruturas	Estruturas condicionantes da emergência	
Importância do ponto de água		
Medições in situ	Data, hora	
	Cheiro, cor, turbidez	
	Temperatura do ar, temperatura da água	
	pH	
	Condutividade, resíduo sólido total	
	NHE	
	Caudal medio, caudal estimado (ultimo dia de precipitação)	
Documentos anexos	Colheita para análise química; colheita para análise bacteriológica; documentos bacteriológicos	
Esquema do local e registo fotográfico		

ANEXO E
Resultados analíticos das amostras em estudo

Unidade	Amostras/ Parâmetros	NSD-L	NSD-L2- T	NRG-SD	PM-SD	NG-SD	P-TF- SD	P-PA-SD	P-28-SD	P- PIOIA- SD	PR-SD	PJz-SD
°C	Temp.	24	24	24.2	23.8	24.7	24.7	24.2	25.3	23.1	23.8	24.4
	pH	7.73	8.25	7.64	7.05	7.3	6.94	6.95	7.06	7.2	7.3	7.02
µs	C.E. (µs)	525	534	456	1368	929	740	1422	1354	1396	1528	1457
mg/L	Alc.	197.5	191	163.5	446	366	214	362.5	417	455.7	463.5	175
NTU	Turvação	0.09	0.40	0.10	0.19	0.15	0.18	0.50	0.20	0.28	0.14	0.23
mg/l	Oxidabilidade	0.28	0.53	0.35	0.59	0.46	0.57	0.47	0.84	0.88	0.76	0.83
mg/L	TSD	251	255	218	667	448	354	693	658	679	745	711
mg/L	F-	0.14	0.2	0.13	0.17	0.18	0.17	0.14	0.21	0.28	0.28	0.26
mg/L	Cl ⁻	50.02	50	45.59	173.54	89.14	81.27	193.34	198.85	192.66	219.58	204.81
mg/L	NO ²⁻	0.19	0.5	0.21	4.29	0.46	1.92	4.29	3.69	4.09	1.13	4.25
mg/L	Br ⁻	0.12	0.91	0.07	0.31	0.1	0.1	<0.01	0.38	0.16	0.08	0.35
mg/L	NO ³⁻	23.47	19.87	13.98	71.4	28.09	80.69	15.46	22.89	11.54	29.6	48.18
mg/L	PO ₄ ³⁻	1.46	<0.03	1.22	0.34	<0.03	<0.03	<0.03	0.09	0.06	0.5	0.18
mg/L	SO ₄ ²⁻	8.52	7.99	7.95	25.19	17.8	11.78	37.88	25.87	53.75	51.32	51.8
µg/L	Ba	< 20	< 20	< 20	30	< 20	30	60	170	70	80	20
mg/L	Al	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
mg/L	K	8.3	8.4	7.1	9.5	5.8	4.3	5.8	7.1	5.4	6.5	10.9
mg/L	Mg	29.8	29.5	23.1	77	50.5	38.5	70.9	72.4	66.5	68.9	62.4
mg/L	Mn	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.02	< 0.01	< 0.01	0.09
mg/L	Si	27.5	27	21.7	19.9	23.4	24.1	21.4	20.9	23	18.9	21.9
µg/L	Ag	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
µg/L	As	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30
µg/L	Be	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
µg/L	Bi	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20

mg/L	Ca	23.3	23.1	19.1	88.4	59.7	40.2	107	92.5	103	113	116
µg/L	Cd	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
µg/L	Ce	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30
µg/L	Co	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
µg/L	Cr	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
mg/L	Fe	0.03	0.05	0.03	0.07	0.03	0.1	0.05	0.05	0.05	0.04	0.03
µg/L	Cu	< 2	< 2	< 2	3	< 2	< 2	2	2	2	4	31
mg/L	Li	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
µg/L	Mo	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
mg/L	Na	35.1	35.7	36	71.7	56.3	44.9	66.9	71.5	89.2	94	84.8
µg/L	Ni	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
mg/L	P	0.06	0.16	0.05	0.27	0.03	0.15	0.12	0.13	0.08	0.11	0.25
µg/L	Pb	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
µg/L	Sb	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
mg/L	S	2	2	2	8	5	4	11	8	12	14	15
µg/L	Se	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
µg/L	Sn	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
µg/L	Sr	200	200	220	960	560	380	900	960	950	1120	960
µg/L	Te	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	10
µg/L	Ti	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
µg/L	Tl	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
mg/L	U	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
µg/L	V	10	10	20	20	10	20	20	10	< 10	< 10	10
µg/L	W	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
µg/L	Y	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
µg/L	Zn	33	21	17	30	17	50	21	25	32	26	86

CONT. ANEXO E

Unidade	Amostras/ parâmetros	PT-29	PB-SD	P-70- SD	P-55-412-SD	FT-13-SD	FBE-53 BIS-SD	FST-922 -SD	FST-850- SD	PRV1- SD	FST-857- SD	AD-SD
°C	Temp	25.9	26.9	26.1	26.1	27.5	28.1	28	24.5	23.7	25.9	27.1
	pH	6.8	6.86	6.76	6.8	7.31	7.88	7.92	7.95	6.98	7.96	7.66
µs	C.E.	1974	2350	1730	2180	2080	425	889	425	972	369	2040
mg/L	Alc.	269.2	168.5	307.5	140	195	144	141.5	157.5	129.5	182.5	466.5
NTU	Turvação	0.12	0.08	0.20	0.19	0.23	0.11	0.18	0.18	0.40	0.22	0.20
mg/l	Oxidabilidade	0.54	0.73	0.50	0.63	0.56	0.40	0.46	0.34	0.87	0.38	0.47
mg/L	TSD	973	1170	848	1080	1030	356	428	203	469	176	1190
mg/L	F ⁻	0.26	0.14	0.18	0.2	1.8	0.21	0.14	0.1	0.19	0.17	0.25
mg/L	Cl ⁻	245.6	394.26	244.02	342.01	334.19	121.03	96.61	43.02	168.64	50.04	458.4
mg/L	NO ²⁻	0.97	4.75	3.48	0.18	3.87	0.1	2.37	0.6	2.53	0.64	6.2
mg/L	Br ⁻	0.8	0.96	0.68	0.97	0.81	0.44	0.68	0.09	0.36	0.14	1.18
mg/L	NO ³⁻	0.06	213.94	114.26	174.62	42.25	26.28	25.36	15.84	105.53	26.5	45.62
mg/L	PO ₄ ³⁻	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.15	<0.03	0.35	1.02	0.2	0.12
mg/L	SO ₄ ²⁻	125.06	155.98	104.84	151.38	167.88	25.98	28.05	6.87	19.78	10.1	25.55
µg/L	Ba	80	50	60	30	30	< 20	< 20	< 20	110	< 20	50
mg/L	Al	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
mg/L	K	9.6	9.6	7.4	8.3	10.4	7.3	6.8	6.1	8.6	7.2	14.3
mg/L	Mg	105	95	68.8	88.1	67.2	28.5	36	21.4	35.6	8.5	66
mg/L	Mn	0.25	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
mg/L	Si	23.3	18.4	18.6	17.6	18	21.9	21.5	16.1	21.9	18.9	22.3
µg/L	Ag	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
µg/L	As	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30
µg/L	Be	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
µg/L	Bi	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20

mg/L	Ca	115	192	123	158	64.2	32.2	36.6	19.4	53.1	12.8	60.5
µg/L	Cd	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
µg/L	Ce	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30
µg/L	Co	2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
µg/L	Cr	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
mg/L	Fe	0.11	0.03	0.06	0.08	0.06	0.06	0.14	0.04	0.04	0.1	0.08
µg/L	Cu	< 2	3	3	3	64	< 2	< 2	3	4	< 2	3
mg/L	Li	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
µg/L	Mo	< 5	< 5	< 5	< 5	22	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	17
mg/L	Na	150	134	123	134	267	66	73.5	34.3	68.5	43.9	321
µg/L	Ni	6	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	5	< 5	< 5	< 5	< 5
mg/L	P	< 0.02	0.16	0.08	0.11	0.09	0.13	0.04	0.19	0.54	0.08	0.13
µg/L	Pb	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
µg/L	Sb	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
mg/L	S	37	45	32	44	50	8	9	2	6	3	42
µg/L	Se	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
µg/L	Sn	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
µg/L	Sr	2300	1830	1160	1450	2240	360	400	250	870	240	1930
µg/L	Te	< 10	< 10	< 10	< 10	20	< 10	< 10	10	< 10	< 10	< 10
µg/L	Ti	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
µg/L	Tl	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
mg/L	U	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
µg/L	V	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	20	20	20	< 10	10	< 10
µg/L	W	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
µg/L	Y	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
µg/L	Zn	16	33	23	25	166	150	48	176	41	333	121

